أساسيات في

علم الموائع

المهندس

محمود أحمد عمري



مكتبة المجتمع العربي

للنشر والتوزيع

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العظيم

أساسيات في

علم الموائع

أساسيات في

علم الموائع

تاليف

د. محمود أحمد عمري

الطبعة الأولى

2014م – 1435هـ



رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2013/6/1824)

532

عمري، محمود أحمد

أساسيات في علم الموائع/ محمود أحمد عمري.- عمان: مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، 2013

( ) ص

ر.إ. : 2013/6/1824

الواصفات: /ميكانيكا الموائع//الحالات الطبيعية/

- يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية أو أي جهة حكومية أخرى.

الطبعة العربية الأولى

2014م - 1435هـ



عمان - وسط البلد - ش. السلط - مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن

عمان - ش. الملكة رانيا العبد الله - مقابل كلية الزراعة -

مجمع زهدي حصوة التجاري

www: muj-arabi-pub.com

Email: Moj_pub@hotmail.com

ISBN 978-9957-83-328-2 (ردمك)

المحتويات

الوحدة الثالثة (كينمانيكا انسياب الموائع)

الوحدة الرابعة

الوحدة الخامسة (جريان الموائع في الأنابيب)

الوحدة السادسة (المضخات)

المقدمة

يعرف علم الموائع بأنه ذلك العلم الذي يبحث في سلوك الغازات والسوائل من نواحي متعددة.

على الرغم من التطور الكبير الذي طرأ على علم الموائع والتعدد في فروعه إلا أن الأساسيات في هذا العلم لا زالت نفس أساسيات ومبادئ علم الميكانيكا التي تنطبق على المواد الصلبة على الرغم من اختلاف التسميات. فالإجهاد مثلا في المواد الصلبة يسمى ضغط في علم الموائع والوحدات المستخدمة هي نفسها في الحالتين:

يقسم علم ميكانيكا الموائع إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

1- ستاتيكا الموائع "Fluid Static's" وهو العلم الذي يبحث في الموائع بوضع السكون.

2- كينماتيكا الموائع Fluid Kinematics وهو العلم الذي يبحث في سرعة جريان المائع والتدفق دون التطرق إلى مسببات هذا الجريان من طاقة وقوى مؤثرة.

3- ديناميكا الموائع Fluid dynamic's وهو العلم الذي يبحث في العلاقة بين السرعة والتسارع والضغط والقوى التي يؤثر فيها المائع على المحيط أو القوى التي تؤثر على المائع.

وسوف يتم في هذا الكتاب التركيز وإلقاء الضوء على المفاهيم الأساسية في علم الموائع، وقد تمت هيكلة هذا الكتاب بما يتناسب مع الخطة الدراسية بطلبة الشهادة الجامعية المتوسطة. وتمت الاستعانة حيث أمكن بالأمثلة المحلولة بحيث تعطي ما يفيد في استخدامات هذه المفاهيم في الحياة

العملية. وقدر وعي أن تكون هذه الأمثلة ميسرة ومتناسبة مع المادة النظرية المطروحة في هذا الكتاب.

آملاً أن أكون قد وفقت في تجميع المادة الملائمة للطلبة بما يتناسب مع احتياجاتهم والخطة المعدة لطلبة الشهادة الجامعية المتوسطة.

والله ولي التوفيق

المؤلف

الفصل الأول

خواص الموائع

الفصل الأول
خواص الموائع

الموائع هي السوائل والغازات، وعلم ميكانيكا الموائع هو العلم الذي يبحث في الموائع وحركتها والقوى أو الطاقة المتعلقة بها.ويقسم علم الميكانيكا الموائع إلى ثلاثة فروع:

ميكانيكا الموائع وهو العلم الذي يبحث في الموائع في وضع السكون.

كينماتيكا الموائع وهو العلم الذي يبحث في حركة (سرعة) الموائع وطريقة (خطوط، الجيريان دون الأخذ بعين الاعتبار القوى المؤثرة عليها. بينما يبحث علم ديناميكا الموائع بالعلاقة بين السرعة والتسارع من جهة والقوى المؤثرة على المائع (أو القوى التي يؤثر بها المائع) من جهة أخرى.

1-1 مقارنة الموائع بالمواد الصلبة:

نلاحظ من المشاهدات اليومية أن من أبرز صفات الموائع أنها تأخذ شكل الحيز الموجودة فيه. فالماء في الكوب يأخذ شكل الكوب وكذلك الغازات. أما المواد الصلبة فتحتفظ بشكلها.

جزيئات المادة الصلبة أكثر تماسكاً من جزيئات المائع، حيث أن قوى التجاذب بين جزئيات المادة الصلبة أكبر منها بكثير في الموائع. المواد الصلبة غير انسيابية في الظروف الاعتيادية، وليست الموائع كذلك. على الرغم من ارتفاع لزوجة بعض الموائع إلا أنها تنساب تحت الإجهاد وتتأثر به بسهولة وليس الحال كذلك للمواد الصلبة التي يمكن أن تعود إلى شكلها الأصلي بعد زوال الإجهاد ويحتاج الصلب إلى اجهادات عالية قبل أن ينساب.

1-2 مقارنة بين السوائل والغازات:

من المعروف أن الموائع تأخذ شكل الحيز الموجودة فيه ولكن السائل لا يملأ ذلك الحيز كاملا، بينما يتوزع الغاز لكي يملأ الحيز بكامله. تكون جزيئات الغاز متباعدة عن بعضها البعض وقوة الترابط بينها ضعيفة جداً. بينما تتقارب جزيئات السائل بقوى ترابط عالية نسبيا. ونظراً لتباعد جزيئات الغاز فإنه قابل للانضغاط بشكل كبير ولكن جزيئات الغاز تعود للتباعد عند زوال الضغط وبالتالي فإن الغاز يحاول التمدد بلا حدود ويكون في حالة اتزان عندما يكون محصوراً بالكامل داخل حيز معين. أما السائل فهو فيعتبر غير قابل للانضغاط من الناحية العملية إلا تحت ضغوط عالي جداً.

أما البخار فلا يعتبر غازاً عند درجة حرارة وضغط قريبين جداً من الحالة السائلة. ويصبح البخار غازاً إذا كان محمصا لدرجة حرارة عالية أي أن حالته أصبحت بعيدة جداً عن الحالة السائلة.

يتأثر حجم الغاز بشكل كبير بتغيرات درجة الحرارة والضغط أو كلاهما معاً. وتزداد كثافة الغاز كلما قل حجمه وارتفع ضغطه، وعند التعامل مع الغازات نلاحظ حجم التأثير الكبير لدرجة الحرارة والضغط على حالة الغاز، ويتم دراسة هذه العلاقات بتوسع في علم الديناميكا الحرارية. لذا فإن ميكانيكا الموائع والديناميكا الحرارية مترابطات.

1-3 الكثافة، الوزن النوعي، الحجم النوعي:

Density, Specific weight, Septic volume :

تعرف الكثافة (e) بأنها كتلة وحدة الحجم. أي كمية المادة الموجودة في قطعة من المادة حجمها 1سم^3، أو 1م^3... الخ ووحدتها kg/cm^3 أو kg/mg^3.

والوزن النوعي (γ) هو وزن وحدة الحجم، أي:

(الكثافة × تسارع الجاذبية الأرضية).

($g \times e$) ووحدتها N/cm^3 أو N/m^3. ويمثل الوزن النوعي القوة الناشئة من تأثير الجاذبية الأرضية على وحدة الحجم.

يتبين مما سبق أن:

$$\gamma = e.g \quad \text{أو} \quad e = \frac{\gamma}{g} \quad \text{.................} \quad (1\text{-}1)$$

أما الحجم النوعي (υ) فيعرف بأنه حجم وحدة الكتلة ومن هنا يتضح أن الحجم النوعي هو مقلوب الكثافة.

$$\upsilon = \frac{1}{e} \quad m^3/kg \quad \text{أو} \quad cm^3/g \quad \text{.................} \quad (1\text{-}2)$$

من الجدير بالملاحظة أن الوحدة m^3/kg أو cm^3/g ليست الزامية بل يمكن أن تتغير إذا اقتضى الأمر أن يمكن أن نقول: g/m^3 مثلاً أو kg/cm^3 ... الخ.كما في المثال التالي:

$$kg/m^3 = 1000\ g/m^3 = 1000g/100 \times 100 \times 100\ Cm^3$$

$$= 10^3 g/10^6\ Cm^3 = \frac{1}{1000} g/cm^3 \qquad \text{وهكذا}$$

أما الكثافة النوعية (S) للمائع فتعرف بأنها النسبة بين كثافة المائع إلى كثافة مائع آخر معياري. فالكثافة النوعية للسوائل هي نسبة كثافة السائل إلى كثافة الماء.

حيث كثافة الماء عند $4c°$ $1000kg/m^3$

$$1000 \times (1000\ g) / (100 \times 100 \times 100)\ Cm^3 = 1g/Cm^3$$

أما للغازات فيؤخذ غاز الهيدروجين كغاز معياري وتقاس الكثافة النوعية للغازات نسبة إلى كثافة الهيدروجين وبشكل عام تتأثر كثافة الغازات كثيراً بدرجات الحرارة والضغط.

1-4 الموائع القابلة للانضغاط والغير قابلة للانضغاط:

Compressable and Incompresable fluids:

تتعامل ميكانيكاً الموائع مع كل من الموائع القابلة والغير قابلة للانضغاط (أي الموائع ذات الكثافة الثابتة والموائع ذات الكثافة المتغيرة) ولا يوجد في الواقع مائع غير قال للانضغاط.ولكن يمكن اعتبار المائع غير قابل للانضغاط إذا كان مقدار تغير كثافة المائع قليلا جداً بالنسبة لزيادة الضغط بحيث يمكن إهمال هذا التغير.

وهذه هي الحالة بالنسبة للسوائل التي يمكن من الناحية العملية اعتبارها موائع غير قابلة للانضغاط.

لتعريف قابلية السوائل للانضغاط يجب التعرف على معامل المرونة (الحجمي للسوائل والمعروف بالمعامل الحجمي E_υ ويعرف بالمعادلة التالية:

$$E_\upsilon = \frac{\upsilon_1 (P_2 - - p_1)}{\upsilon_1 - \upsilon_2} \quad \text{.........} \quad (1\text{-}2)$$

حيث υ الحجم النوعي و P الضغط.

إذا دققنا النظر في المعادلة السابقة نلاحظ أن $P_1 > P_2$ وأن $\upsilon_1 > \upsilon_2$ ومعنى ذلك أن زيادة الضغط من P1 إلى P_2 تؤدي إلى نقصانٍ الحجم النوعي من υ_1إلى υ_2. بمعنى آخر أن الحجم النوعي للمائع يتناسب عكسياً مع الضغط.

نلاحظ كذلك من المعادلة أعلاه أن وحدات E_υ هي نفس وحدات الضغط. كما وان قابلية السائل للانضغاط تقل كلما ارتفع معامل المرونة الحجمي للسائل وتزداد قابلية السائل للانضغاط كلما تخفض المعامل الحجمي للسائل أي أن التناسب عكسي بين المعامل الحجمي وقابلية الانضغاط.

معامل المرونة الحجمي للسوائل يقابل معامل المرونة (معامل يونغ) للمواد الصلبة. ويبين الجدول 1-1 معامل المرونة الحجمي للماء عند ضغوط ودرجات حرارة مختلفة.

جدول 1-1

الضغط Psia	درجة الحرارة F°				
15		308.000	332.000	320.000	292.00
1.500	248.000	319.000	342.000	330.000	300.000
4.500	271.000	338.000	362.000	348.000	317.000
15.000	350.00	405.000	426.000	410.000	380.000

مثال 1-1

يتعرض الماء في مكبس هيدروليكي إلى ضغط مقداره 15000 PSi عند 20C°. فإذا كان الضغط الابتدائي 15 PSi أوجد نسبة التغير في الحجم النوعي للماء.

الحل:

من الجدول 1-1 نجد أن المعامل الحجمي للماء عند P_2 هو 320.000 PSi

وبالرجوع للمعادلة 2-1 نجد أن:

$$\frac{\upsilon_1 - \upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{P_2 - P_1}{E_\upsilon}$$

حيث $\frac{\upsilon_1 - \upsilon_2}{\upsilon_1}$ هي النسبة المئوية للمتغير في الحجمي للماء

وبتعويض القيم في المعادلة أعلاه نجد أن:

$$\frac{\upsilon_1 - \upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{15000 - 15}{320.000} = \frac{14.985}{320.000}$$

من الملاحظ أن الارتفاع الكبير في الضغط (من 15 PSi إلى 15000 PSi) أي مضاعفة الضغط ألفا حره أدت إلى نقصان الحجم النوعي للماء بمقدار ضئيل جداً، من هنا يمكن اعتبار السوائل غير قابلة للانضغاط من الناحية العملية.

أي أن كثافة السائل (أو الوزن النوعي) يتغير بمقدار ضئيل فقط مع تغير الضغط.

1-5 المائع المثالي Ideal Fluid:

هو المائع عديم الاحتكاك. أي أن لزوجته تساوي صفراً. أي أن القوى الداخلية عند أي مقطع داخل المائع تكون دائماً عمودية على ذلك المقطع حتى أثناء الحركة، وهي بالتالي لا تقاوم الحركة ولا يجب بذل أية قوة للتغلب عليها. ومثل هذا المائع غير موجود في الواقع.

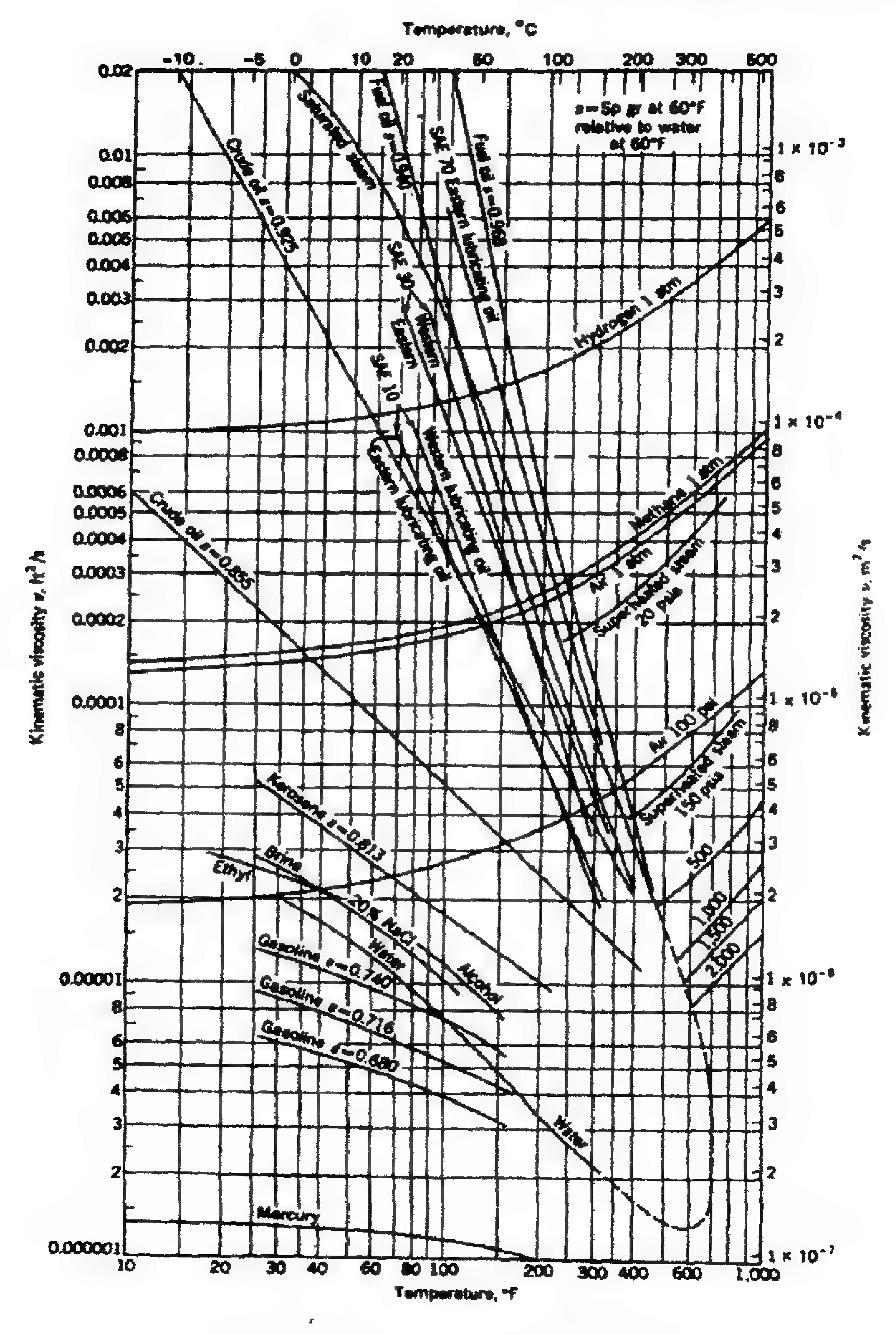
في الموائع الحقيقية (السوائل والغازات) تحدث قوى المقص المماسية دائماً أثناء حركة المائع وبالتالي تقاوم الحركة وتؤدي إلى وجود الاحتكاك في المائع. وتكون قوى الاحتكاك هذه ناتجة عن خاصية تسمى خاصية الزوجه (Viscosity).

1-6 اللزوجة (Viscosity):

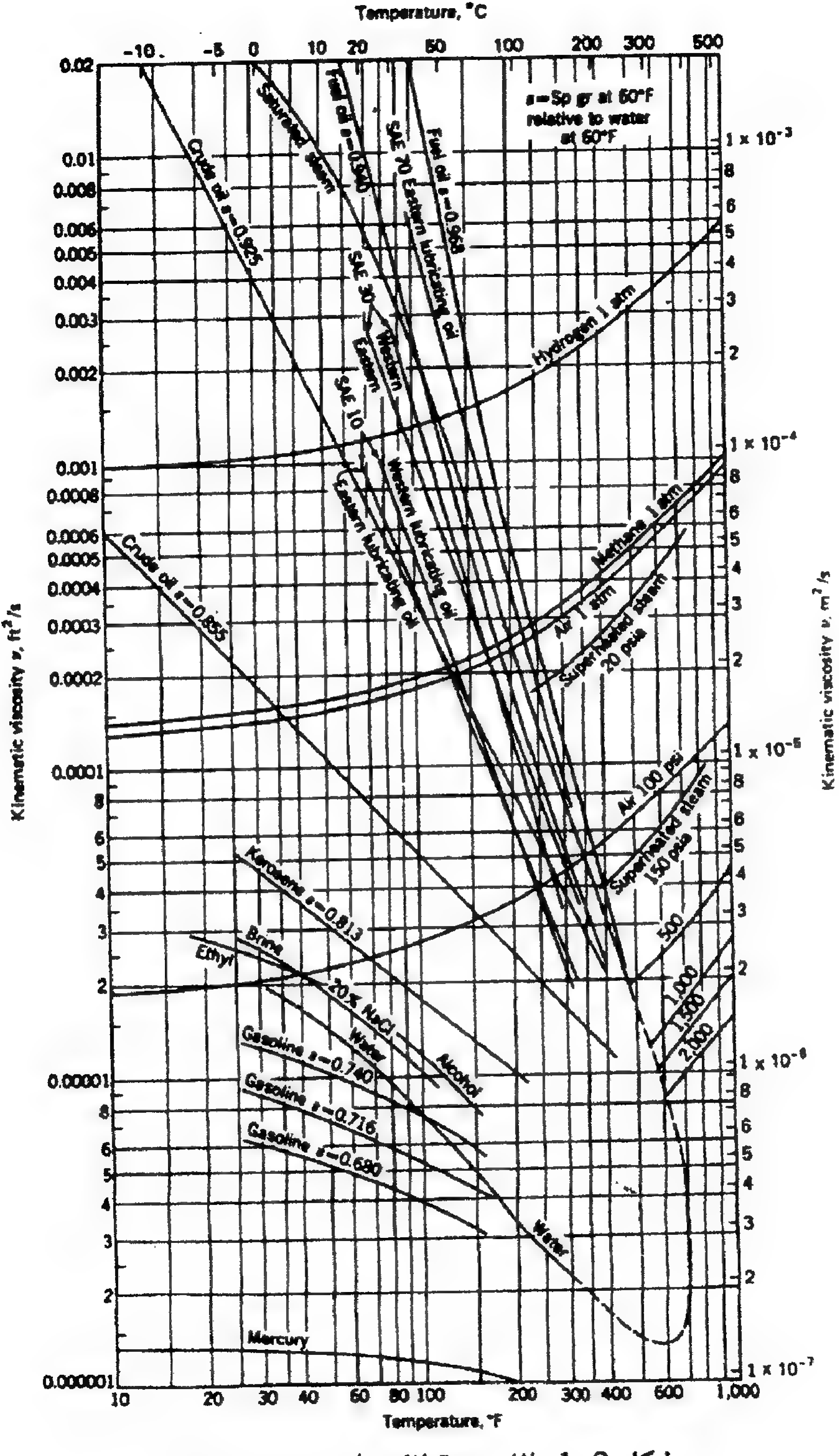
لزوجة المائع هي مقياس لمقاومة المائع لقوى القص أو التشوه القص الخطي أو الزاوي. حيث تحاول قوى القص فصل جزيئات المائع عن بعضها البعض مما ينتج عنه قوة الاحتكاك. وتزداد قوة الاحتكاك كلما زادت قوى التماسك (لزوجة المائع).

تتأثر لزوجة الموائع بتغير درجة الحرارة حيث تقل لزوجة السوائل كلما ارتفعت درجة الحرارة بسبب ضعف قوى التماسك بين الجزيئات. أما الغازات فإن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة طاقة الحركة العشوائية للجزيئات، وبالتالي يزداد معدل تصادم الجزيئات مع بعضها البعض، وكنتيجة للتصادم فإن الجزيئات المنخفضة السرعة تمتص جزءاً من سرعة وطاقة حركة الجزيئات الأسرع مما يؤدي إلى توليد قوى قص وبالتالي ازدياد الاحتكاك بين طبقات وجزيئات الغازات، لذا تزداد لزوجة الغازات كلما ارتفعت درجة الحرارة (بعكس السوائل). ويبين الشكلان (1-1) و (2-1) اللزوجة المطلقة واللزوجة الكينماتيكية للموائع.

لندرس لوحين واسعين مستويين متوازيين (شكل 5-1)، وهما واسعين لدرجة يمكن معها إهمال تأثير الأطراف.



شكل 1-1 اللزوجة المطلقة μ للموائع

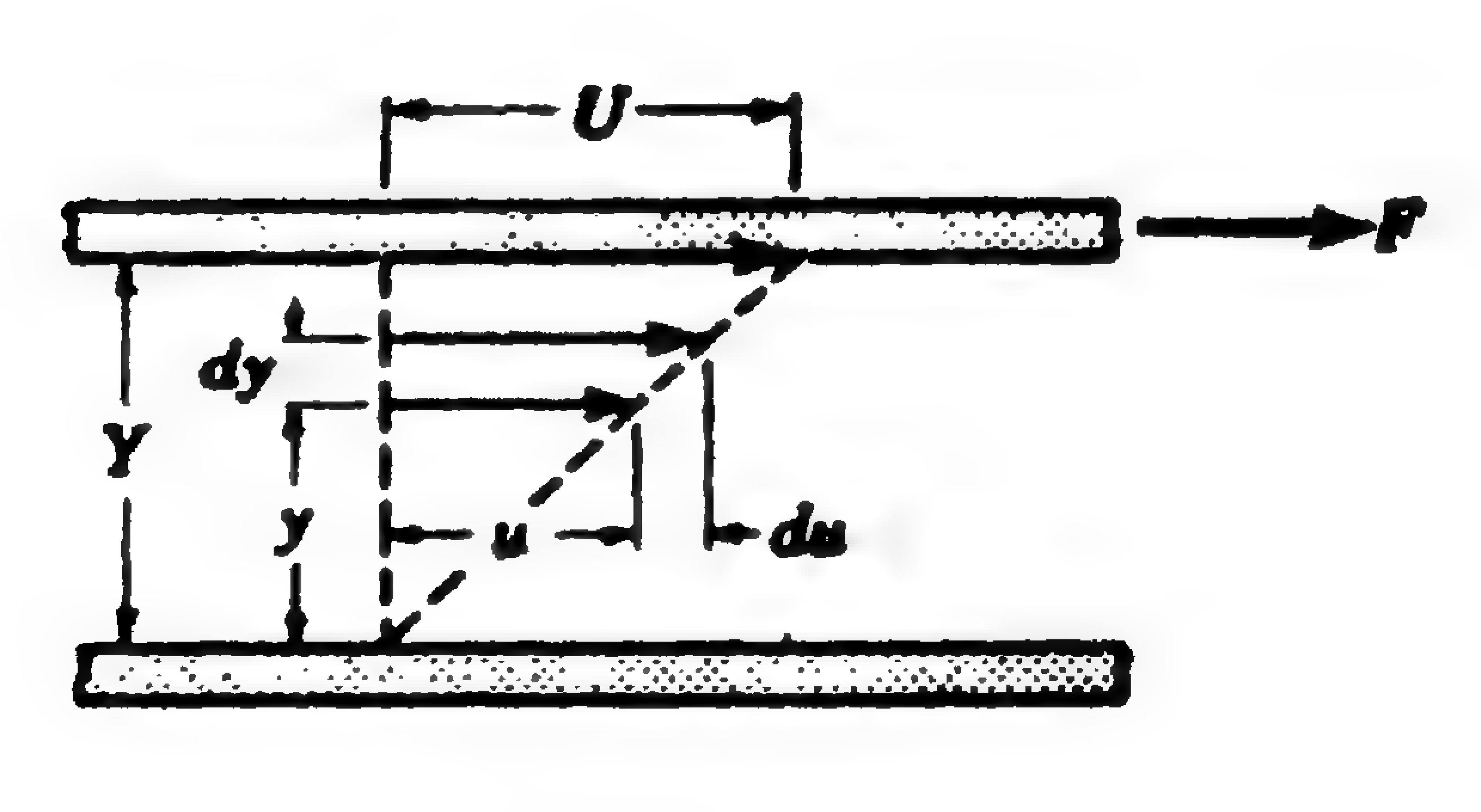


شكل 2–1 اللزوجة الكيماتيكية ν للموائع

يفصل اللوحين مسافة بسيطة (y) مملوءة بالمائع. ولنفرض أن السطح السفلي ثابت، بينما يتحرك السطح العلوي موازيا للسطح السفلي بسرعة مقدارها (U) تحت تأثير قوة مقدارها (F)، وأن مساحة سطح كل من اللوحين (A).

جسيمات المائع التي تلامس السطحين تبقى ملتصقة بهما، وعندما لا تكون المسافة (y) كبيرة أو السرعة (U) عالية، فإن تناقص سرعة جسيمات المائع كلما ابتعدنا عن السطح المتحرك يكون كما في الشكل (أي أن السرعة تتناقص بطريقة خطية). ويتمثل هذا كما لو كان المائع مكونا من عدد من الرقائق فوق بعضها البعض، بحيث تنزلق هذه الطبقات عن بعضها البعض لتشكل في النهاية المثلث المبين في الشكل. تماما كما لو تم طي مجموعة من صفحات كتاب بحيث

تتباعد أطراف الصفحات بشكل تدريجي.



شكل (3-1)

لقد دلت التجارب على أن القوة (F) وكثير من الموائع تتناسب طردياً مع كل من السرعة (U) والمساحة (A) وعكسيا مع المسافة بين اللوحين (y). أي أن:

$$F \alpha \frac{A.U}{y}$$

وعند وضع إشارة التساوي واستخدام ثابت التناسب تصبح المعادلة:

$$F = \mu \frac{A.U}{y} \quad \text{.................} \quad (1\text{-}3)$$

ويما ان الاجهاد "σ" هو القوة الواقعة على وحدة المساحة.

$$\sigma = \frac{\mu.U}{y} = \sigma = \frac{F}{A} = \frac{\mu.U}{Y} \quad \text{.................} \quad (1\text{-}4)$$

تسمى العلاقة أعلاه معادلة نيوتن للزوجة وتستخدم لتعريف ثابت التناسب "µ" وهو اللزوجة الديناميكية للمائع.

$$\mu = \sigma = \frac{y}{u} \, N.S/m^2 \quad \text{.................} \quad (1\text{-}5)$$

$$\mu = \frac{\sigma \, . \, Y}{\mu} \quad N.S/\,m^2$$

حيث "µ" اللزوجة الديناميكية أو اللزوجة المطلقة.

وسميت ديناميكية نظراً لاحتواءها على القوة (N). أما اللزوجة الكينماتيكية (υ) والتي لا تحتوي على القوة (نيوتن) فيتم إيجادها بقسمة µ على كثافة المائع.

$$\upsilon = \mu/e \;\; Cm^2 \,/\, S \quad \text{.................} \quad (1\text{-}6)$$

مثال 2-1:

إذا كانت القوة اللازمة لسحب صفيحة معدنية مساحة سطحها $2500Cm^2$ هي 3N، عندما تكون هذه الصفيحة مفصولة عن صفيحة أخرى ثابتة بطبقة من الزيت سمكها 1mm ومعامل لزوجة الزيت هي $9 \times 10^{-2}\ N.s/m^2$ أوجد سرعة انزلاق الصفيحة.

الحل:

$F = 3N$

$\mu = 9 \times 10^{-2}$

$A = 1500\ cm^2 = 1500 / 10^4 = 0.15 m^2$

$y = 1\ mm = 0.001\ m$

$U = ?$

يمكن تطبيق المعادلة 3-1 لإيجاد السرعة.

$$F = \mu . \frac{U.A}{y}$$

$$3 = 9 \times 10^{-2} \times U \times 0.15 / 0.001$$

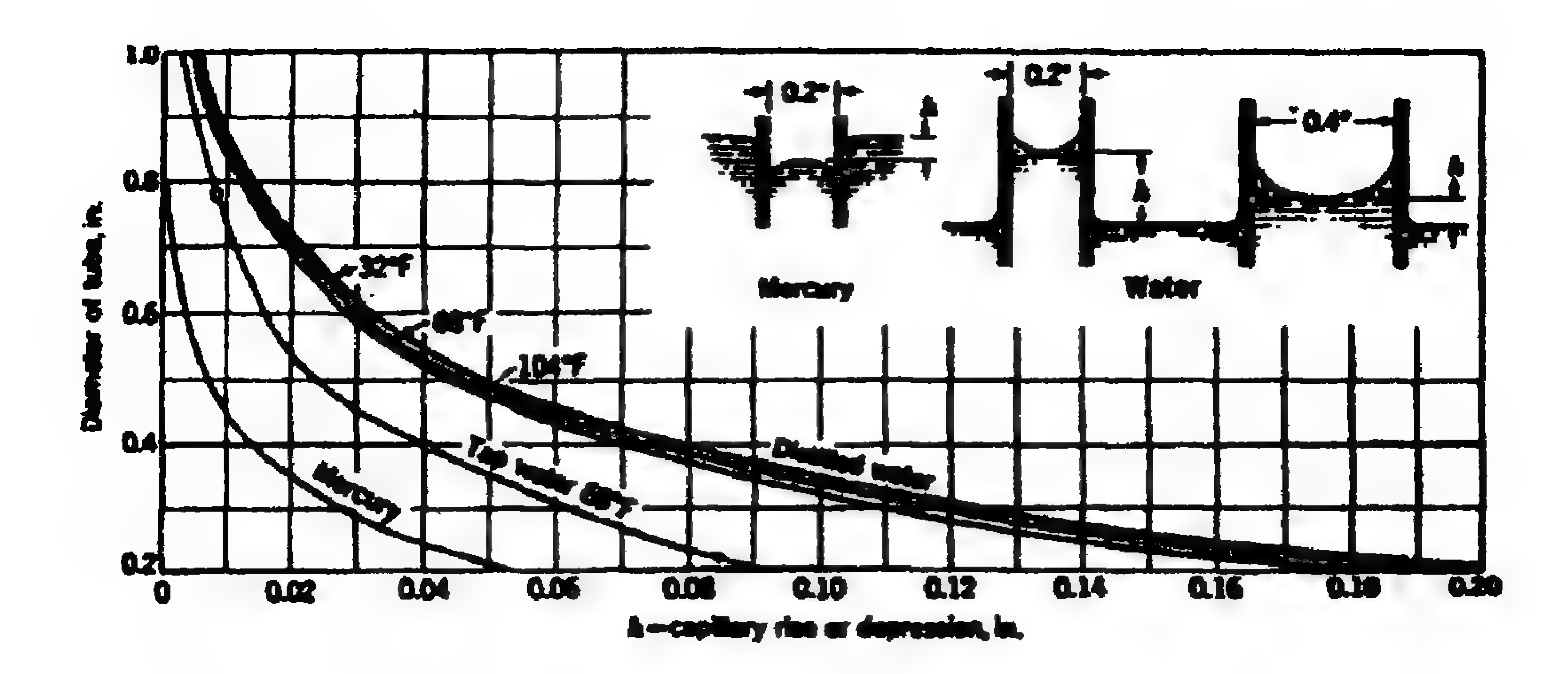
ومنه:

$$U = \frac{3 \times 0.001}{9 \times 10^{-2} \times 0.15} = 0.22\ m/s$$

1-7 التوتر السطحي:

تتمتع السوائل بخواص قوى التماسك وقوى التلاصق. فقوى التماسك هي قوة تجاذب وتماسك جزيئات السائل مع بعضها البعض وهي تساعد السائل في مقاومة إجهادات الشد.

بينما تساعد قوى التلاصق المائع في الالتصاق بالأجسام الأخرى. ينتج عن قوى التجاذب بين الجزيئات تشكيل غشاء يكون قادراً على مقاومة الشد عند التلامس بين السائل والغاز أو عند تلامس سائلين غير قابلين للامتزاج. تسمى خاصية السائل التي تنتج عنها هذه الظاهرة بخاصية التوتر السطحي Surface tension وبسبب هذه الظاهرة يُلاحظ أنه يمكن لسطح الماء أن يرتفع فوق مستوى الكوب إذا ما تم ملئ الكوب ببطئي. أما الخاصية الشعرية فتتولد نتيجة لكل من قوى التماسك وقوى التلاسق. وعندما تكون القوى الأولى أقل من تأثيراً من الثانية فإن السائل يبلل سطح الإناء الذي يلامسه وبذلك يرتفع عند نقاط التلامس فعلى سبيل المثال تؤدي الخاصية الشعرية إلى ارتفاع الماء في أنبوب زجاجي رفيع مما يدل على أن قوى التماسك للماء أقل تأثيراً من قوى التلاصق، بينما ينخفض مستوى الزئبق تحت المستوى الحقيقي . كما في الشكل 4-1 .



شكل 4-1 الخاصة الشعرية في أنابيب مستديرة زجاجية نظيفة

مما يدل على أن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوى التلاصق مع الأجسام الأخرى الأمر الذي يجعل من الزئبق سائلاً ملائما للاستخدام في موازيين الحرارة وبعض أجهزة القياس الأخرى في الموائع بسبب عدم التصاقه بجدران الأنبوب.وقد وجد أنه يمكن إيجاد الارتفاع أو الانخفاض في الأنابيب الشعرية من خلال المعادلة التالي:

$$h = \frac{2\sigma . Cos\theta}{\gamma . r} \quad \text{.......} \quad (1\text{-}7)$$

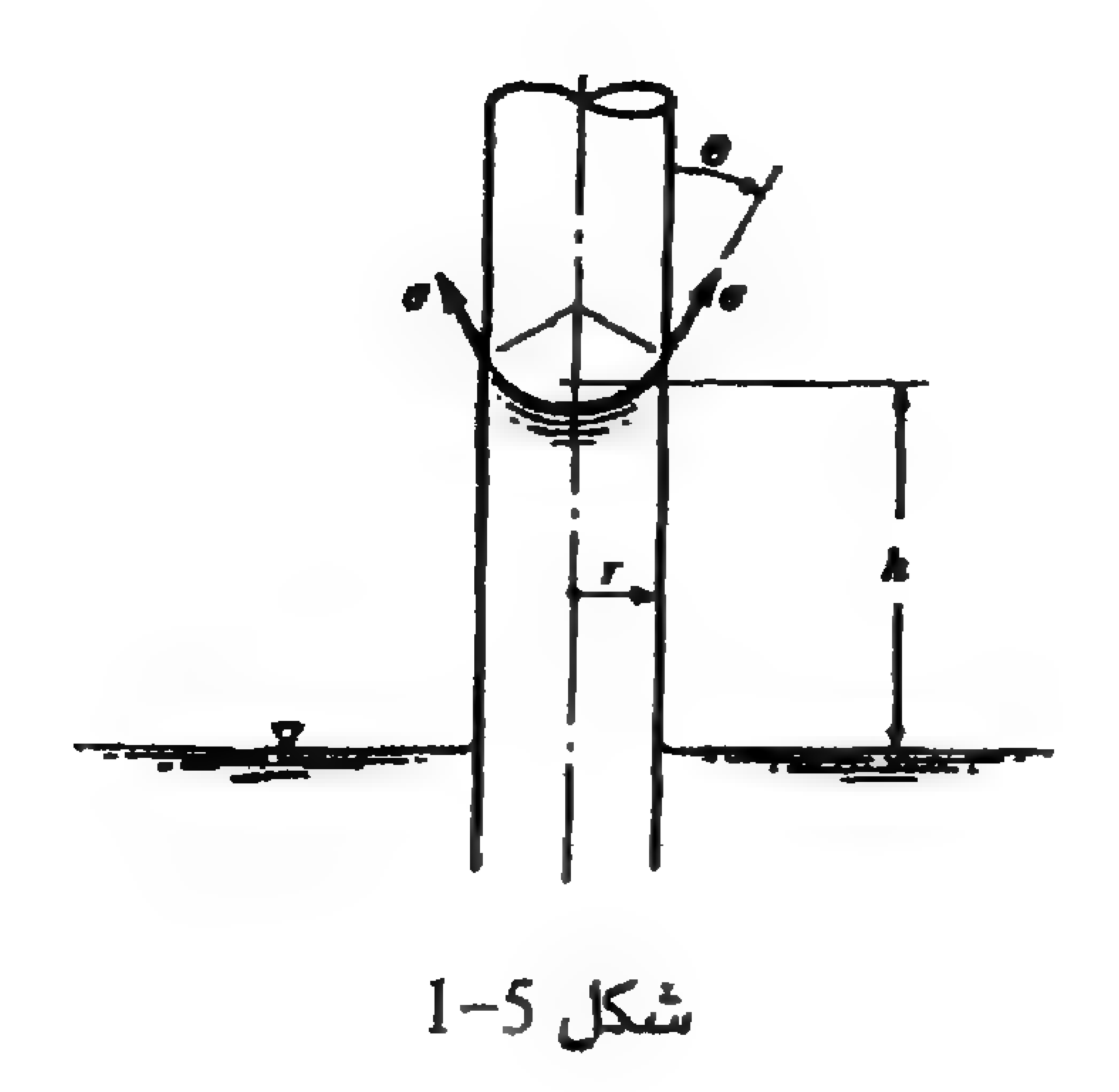
حيث:

σ: التوتر السطحي ووحدته N/m.

γ: الوزن النوعي للسائل.

r: نصف قطر الأنبوب.

h: ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري.



شكل 5-1

يمكن استخدام هذه المعادلة لحساب الارتفاع أو الانخفاض التقريبي في الأنبوب الشعري. وإذا كان الأنبوب نظيفاً فإن: 0 = θ للماء وهي للزئبق حوالي 140° يتناقص تأثير التوتر السطحي كلما ارتفعت درجة الحرارة، وغالبا ما يتم إهمال تأثيرات التوتر السطحي في معظم الأعمال الهندسية بينما تكون ذات أهمية في المشاكل التي تخص بالارتفاع الشعري.

ويبين الجدول 2-1 التوتر السطحي للماء عند درجات حرارة مختلفة مع ملاحظة انخفاض مقدار التوتر السطحي كلما ارتفعت درجة الحرارة.

جدول 2-1 التوتر السطحي للماء

وحدات بريطانية			وحدات SI	
التوتر السطحي			التوتر السطحي σ	
° F	Ib/ ft	°C	mN/m = dyn/cm	N/m
32	0.00518	0	75.6	0.756
40	0.00514	10	74.2	0.742

60	0.00504	20	72.8	00728
80	0.00492	30	71.2	0.712
100	0.00480	40	69.6	0.696
140	0.00454	60	66.2	0.662
180	0.00427	80	62.6	0.626
212	0.00404	100	58.9	0.589

الوحدة الثانية

ستاتيكا الموائع

الوحدة الثانية

ستاتيكا الموائع

يبحث هذا العلم في الموائع في وضع السكون دون اعتبار لأية قوى خارجية تؤثر في المائع وبالتالي عدم وجود إجهادات قص داخل المائع في حالة السكون. لذلك توجد فقط قوى ضغط تؤثر بالاتجاه العمودي، وهذه في أغلب الأحيان ناتجة عن وزن المائع نفسه. ويمكن تعريف شدة الضغط المتوسطة بأنها القوة المؤثرة على وحدة المساحة. فإذا كانت F تمثل القوة الكلية المؤثرة على المساحة (A) بشكل منتظم فإن الضغط (P) يكون:

$$P = \frac{F}{A}$$

النظام المتري kg/m^3 أو مشتقاته وفي النظام العالمي للوحدات N/m^2 أو باسكال (Pa) أو مشتقاته.

2-1 ضغط المائع متساوٍ في جميع الاتجاهات:

في الأجسام الصلبة، وبسبب إمكانية وجود إجهادات مماسية بين الجزيئات المتجاورة، فإن الإجهادات عند نقطة معينة ربما تكون مختلفة في الاتجاهات المختلفة، ولكن في المائع الساكن وبسبب غياب الإجهادات المماسية وبما أن القوى الوحيدة المؤثرة على سطح المائع هي قوى الضغط العمودي على السطح فإن الضغط عند أية نقطة في المائع يكون متساويا في جميع الاتجاهات.

2-2 تغير الضغط في المائع الساكن:

بما أن ضغط المائع متساوٍ في جميع الاتجاهات فإن القوة الوحيدة المؤثرة في المائع الساكن هي القوة الناتجة عن وزن المائع والتي تؤثر في الاتجاه العمودي إلى الأسفل. ينتج عن ذلك أن ضغط المائع الساكن يعتمد على الارتفاع بحيث

يزداد هذا الضغط كلما ابتعدنا عن سطح المائع باتجاه الأسفل ويقل ضغط المائع كلما اقتربنا من سطح المائع.

وقد اتضح (للموائع الغير قابلة للانضغاط) أن التغير في الضغط للمائع الساكن.

$P_2 - P_1 = \gamma (Z_2 - Z_1)$..(2-1)

حيث:

γ: الوزن النوعي للمائع الذي يعتبر ثابت.

Z: ارتفاع عمود المائع أو المسافة العمودية التي يراد قياس الضغط عندها.

تطبق هذه المعادلة على السوائل غالباً لأنها غير قابلة للانضغاط ولكن في حالة الارتفاعات الكبيرة كأعماق المحيطات يلزم أخذ الانضغاطية بعين الاعتبار بسبب الوزن الهائل على طبقات المائع في قاع المحيط. وفي حالة السوائل الساكنة فإنه يفضل قياس المسافة Z رأسياً إلى الأسفل بدءاً بسطح السائل الحر.

2-3 التعبير عن الضغط بعمود من المائع:

من المعروف أن الضغط الجوي (ضغط الهواء الجوي) هو وزن عمود الهواء الواقع على وحدة المساحة. أي أن الضغط الجوي

$$P_{atm} = e.g \times h$$

حيث h هو ارتفاع عمود الهواء فوق سطح الأرض.

والهواء كغيره من الموائع سواء أكانت سوائل أو غازات. فإن ضغط المائع عند أي ارتفاع h يساوي وزن المائع فوق هذا الارتفاع مقسوماً على المساحة A.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{e.g.h \times A}{A}$$

حيث h × A = الحجم

و γ = P.g الوزن النوعي و

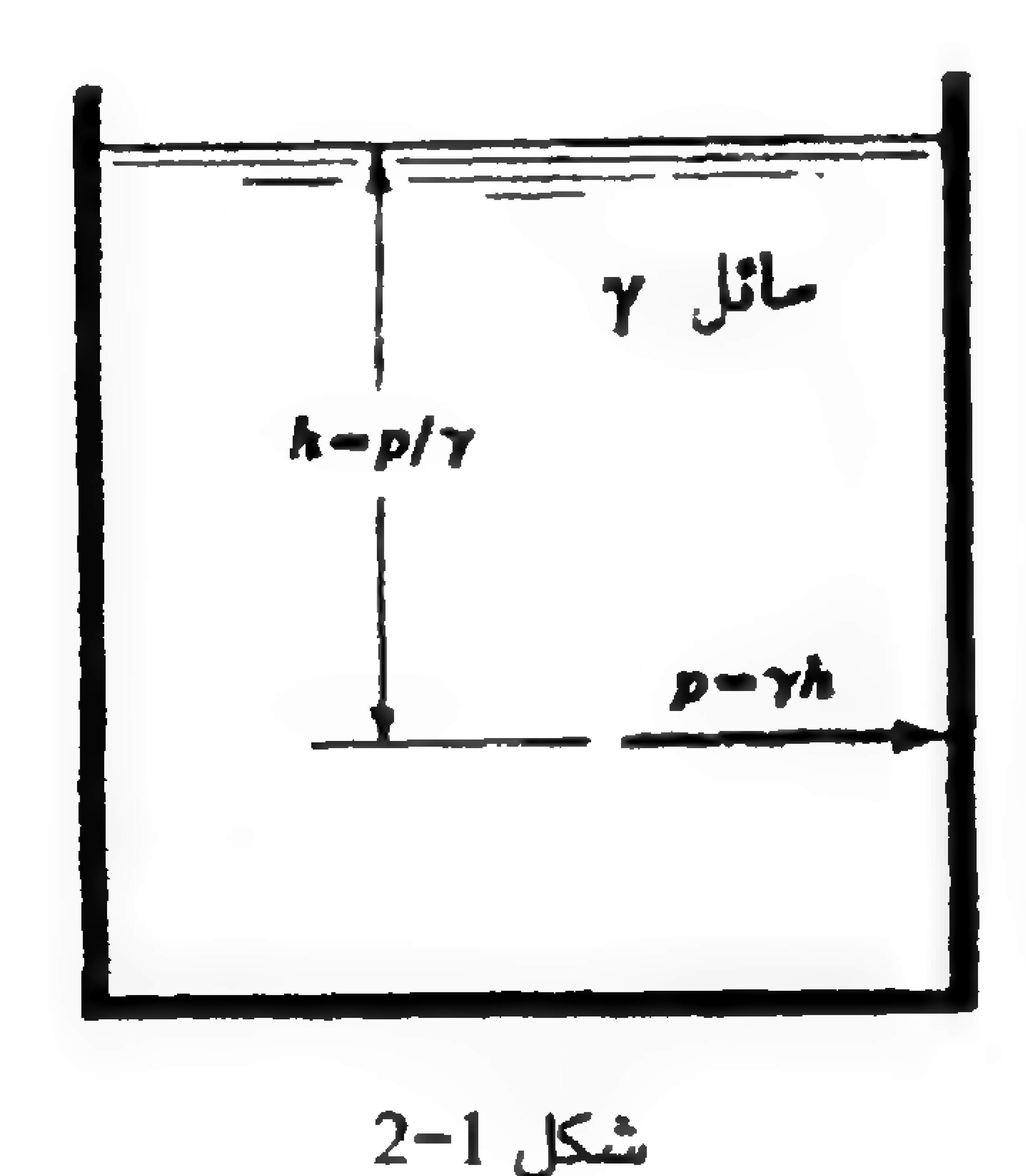
الوزن: = e. g. h. A

إذن:

$$P = \gamma \cdot h \quad \text{..........} \quad (2\text{-}2)$$

في الشكل 2-2 تخيل خزاناً مكشوفاً مليء بالسائل لا يوجد أي ضغط فوق سطحه سوى الضغط الجوي. من المعادلة (2-2) فإن الضغط عند أي عمق يساوي ($\gamma.h$) حيث (h) هو العمق. فإذا كان الوزن النوعي γ ثابتاً فإن الضغط يساوي ارتفاع عمود السائل (h) ويتغير الضغط بتغير الارتفاع. وغالبا ما يتم التعبير عن ضغط المائع بدلالة ارتفاع عمود السائل (h).

$$h = P/\gamma \quad m \quad \text{..........} \quad (2\text{-}3)$$



شكل 1-2

فإذا كان الضغط بوحدة N/m3 وكان الارتفاع (h) بوحدة (m). وغالباً ما يسمى عمود السائل (h) "سمت الضغط".

يمكن كذلك إيجاد قيمة الضغط الجوي بدلالة عمود من السائل فمثلاً إذا كان الضغط الجوي 1.1×10^5 Pa فإنه يمكن إيجاد قيمة عمود أي سائل المكافئة لهذا الضغط. لنأخذ الماء مثلا.

$$P = \gamma.h = e.g.h$$

$$1.1 \times 10^5 = 1000 \times 9.81 \times h$$

$$h = \frac{10^5 \times 1.1}{1000 \times 9.81} = 10.2m$$

وبالمثل إذا كانت كثافة الزئبق $13.6g/cm^3$ فيمكن إيجاد قيمة الضغط الجوي بدلالة عمود الزئبق.

$$P = e.g.h$$

$$1.1 \times 1000 \times 9.81 \times h$$

$$h = \frac{1.1 \times 10^5}{13600 \times 9.81}$$

$$h = 0.76m$$

من هنا يمكن القول أن الضغط الجوي يعادل 10.2m ماء أو 0.76 زئبق.

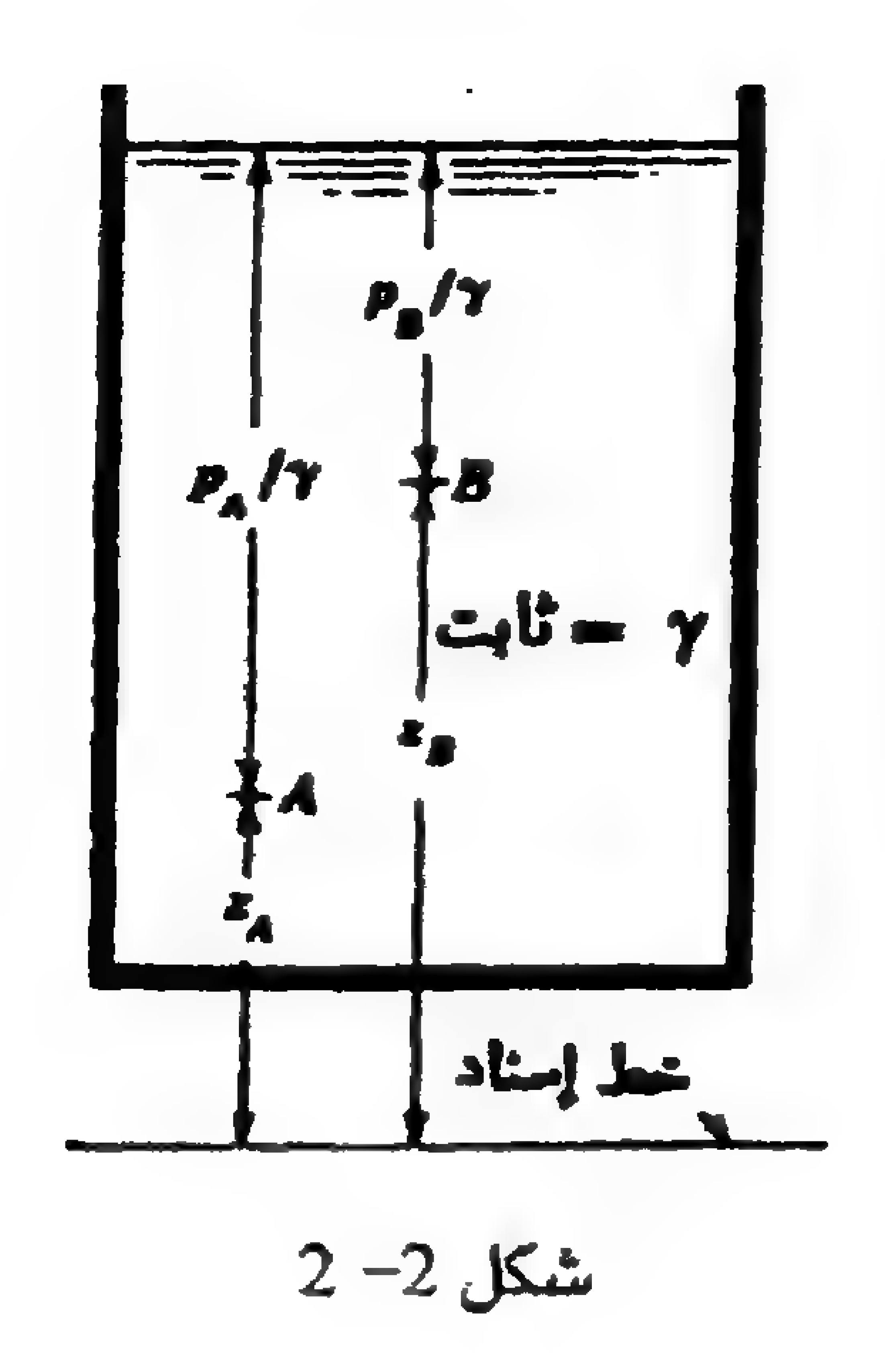
أي أن 10.2m ماء تعادل 0.76m زئبق لأن كل منهما يكافئ الضغط الجوي. يمكن إيجاد القيمة المكافئة للضغط الجوي بدلالة أي مائع ما دامت كثافة المائع معروفة، وذلك باستخدام المعادلة (2-2). يمكن كذلك استخدام نفس المعادلة لتحويل الضغط (سمت المائع) إلى سمت مائع آخر كما يلي:

$(e.g.h)_a = (e.g.h)_b$ .... (2-4)

$$(e.h)_a = (e.h)_b$$

$h_b = \frac{e_a}{e_b} . ha$ .... (2-5)

من الممكن كذلك التعبير عن الضغوط الواقعة على مائع ما بدلالة ارتفاع عمود مائع آخر أو إيجاد الضغط عند نقاط مختلفة الارتفاع في نفس المائع كما في الشكل (2-2)



شكل 2– 2

2-4 الوحدات وتحويلاتها:

على الرغم من تباين الوحدات وتعددها إلا أن التحويل من نظام وحدات إلى نظام آخر أمر سهل ما دامت العلاقة بين أنظمة الوحدات مفهومه والقيم المكافئة معروفة، ويجب على الطالب أن يعي عملية التحويل من وحدة إلى أخرى ويتقنها بسهولة ودقة. ونظراً لأهمية هذا الموضوع فقد ظهرت الحاجة إلى ضرورة إبرازه وتوضيحه.

وحدات الطول:

1 قدم (ft) = 12 أنش (")

=

.25.4mm = 2.54cm = 1

.1000mm = 100cm = 1m

$1\text{cm} = 0.01\text{m} = 10\text{mm} = \frac{1}{2.54}$ أنش

.0.001m = 0.1cm = 1mm

$1\text{mm} = \frac{1}{25.4}$ أنش

وحدات الكتلة:

$1kg = 1000gr = 2.24$ باوند.

$1ToM = 1000\ kg = 1000 \times 1000 = 10^6$غم

(1b) باوند $= \frac{1}{2.24}kg$

وحدات الوزن:

(N) 1 نيوتن $= 0.1\ kg = 100\ g$. أو $10\ N = 1\ Kg$

1 KN كيلو نيوتن $= 1000\ N$.

وحدات المساحة:

$$1cm \times 1cm = 1cm^2$$

$$= 10mm \times 10mm = 100mm^2$$

$$= 0.01m \times 0.01m = \frac{1}{10^4}m^2$$

$$1mm^2 = 0.1cm \times 0.1cm = 0.01cm^2$$

$$= \frac{1}{1000}m \times \frac{1}{1000} = 10^{-6}m^2$$

$$1m \times 1m = 1m^2$$

$$= 100 \times 100\ cm = 1 \times 10^4 cm^2$$

$$= 1000mm \times 1000mm = 1 \times 10^6 mm^2$$

وحدات الحجم:

$$1m \times 1m \times 1m = 1m^3$$

$$= 100cm \times 100cm \times 100cm = 1 \times 10^6 cm^3$$

$$= 1000mm \times 1000mm \times 1000mm = 1 \times 10^9 mm^3$$

$$1cm \times 1cm \times 1cm = 1cm^3$$

$$= 10mm \times 10mm \times 10mm = 1 \times 10^3 mm^3$$

$$1 \times 10^{-6}m^3 = 0.01m \times 0.01m \times 0.01m =$$

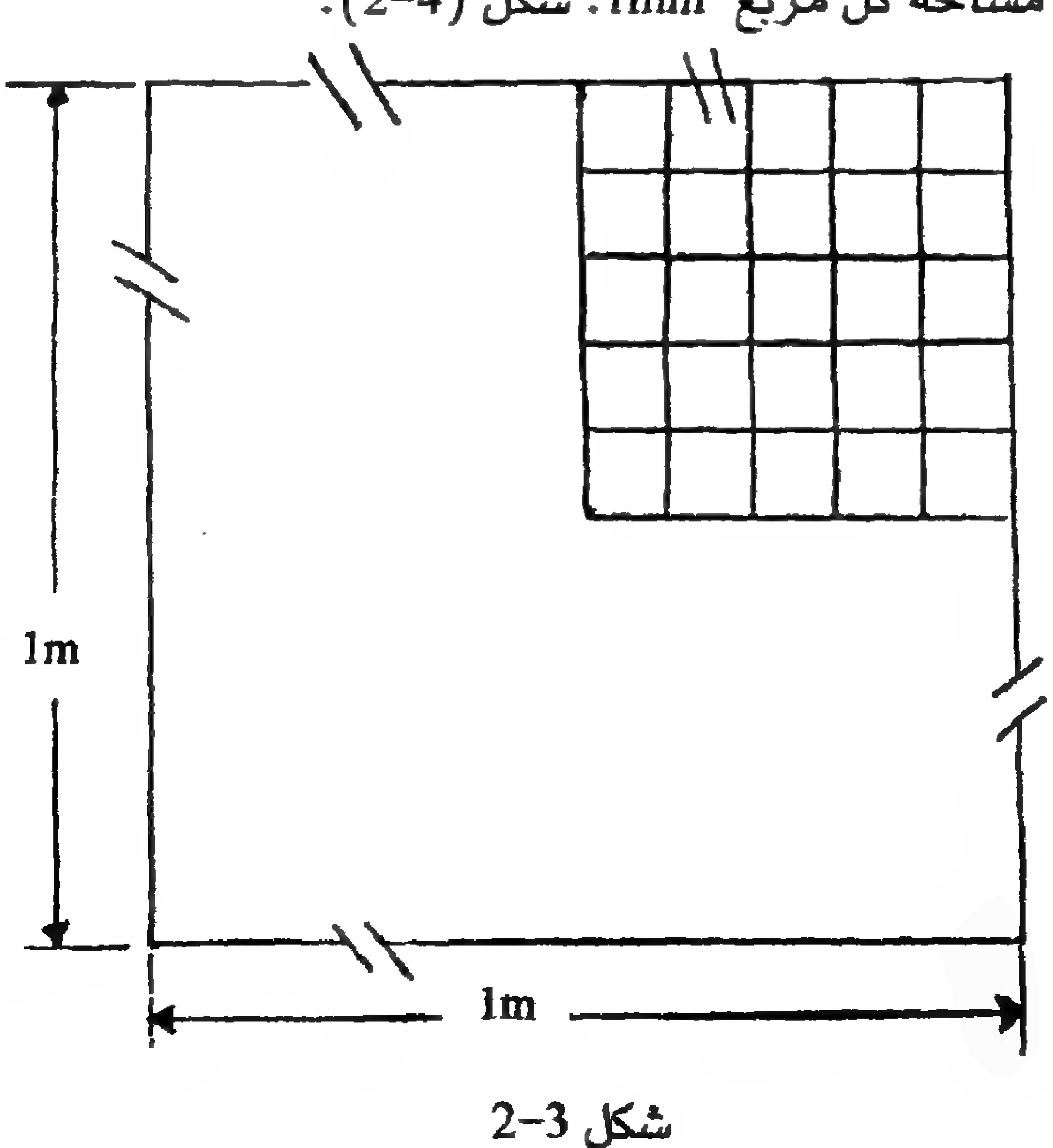
$$1cm \times 1cm \times 1cm = 1cm^3$$

$$1000mm^3 = 10 \times 10 \times 10$$

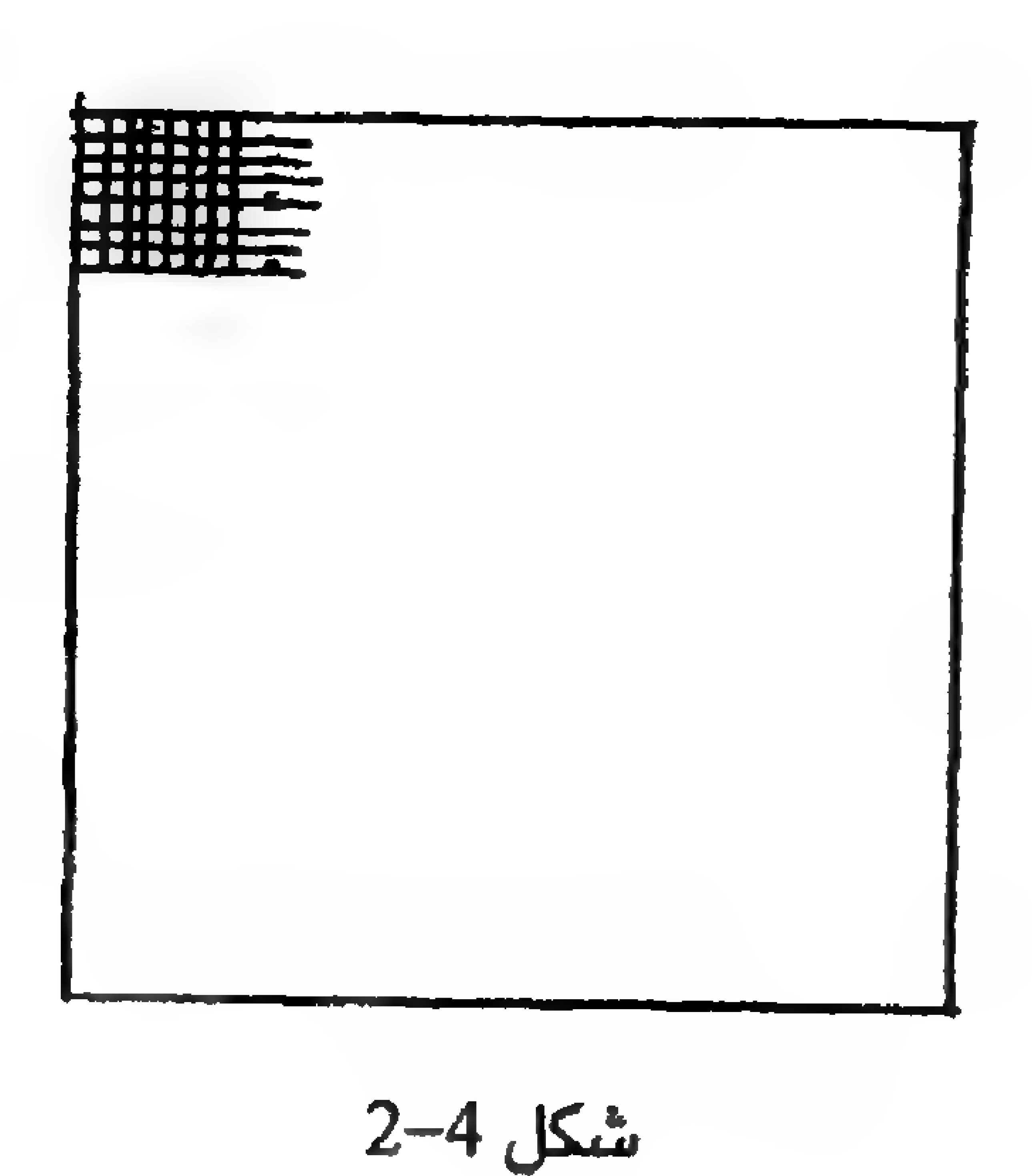
$$1 \times 10^{-6}m^3 = 0.01m \times 0.01m \times 0.01m$$

تأمل قطعة مربعة الشكل طول ضلعها 1m كما في الشكل (3-2) وهذه القطعة مقسمة إلى 1cm في كلا الاتجاهين وبالتالي فهي تحتوي على عدد من المربعات الصغيرة ($1cm \times 1cm$) يساوي $100 \times 100 = 10^4$ مربع صغير طول ضلعه 1cm.

تأمل كذلك مربع آخر طول ضلعه 1cm مقسم إلى ملمترات في كلا الاتجاهين فيكون عدد المربعات الصغيرة ($1mm \times 1mm$) يساوي $10 \times 10 = 100$ مربع صغير مساحة كل مربع $1mm^2$. شكل (4-2).



شكل 3-2



شكل 4-2

أما في حالة الحجم (وجود ثلاثة أبعاد) فإن عدد المكعبات الصغيرة $(1\times1\times1)cm$ الموجودة في مكعب كبير $m\ (1 \times 1 \times 1)$ يكون:

$$1 \times 10^6\ Cm^3 = 100 \times 100 \times 100$$

وهذا يعني أن $1m^3 = 1 \times 10^6 Cm^3$

وأن $1cm^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000\ mm^3$

ومن هنا فإن:

$$\frac{1}{10^6} m^3 = 1Cm^3$$

$$\frac{1}{10^3} Cm^3 = 1mm^3$$

$$\frac{1}{10^9} m^3 = 1mm^3$$

التحويل من نظام إلى آخر ومن وحدة إلى أخرى:

لو كان لدينا ضغط مقداره $1kg/cm^2$ ويراد تحوله إلى وحدات النظام البريطاني $1b/in^2$ ، أو إلى:

$kg/mm^2, B/mm^2, N/cm^2, N/m^2$

بكل بساطة يجب التعويض عن كل وحدة بما يكافئها كما يلي:

2.24 lb = 1 kg

=

$$\left(\frac{1}{2.54}\right)^2 = 1\text{cm}^2 \quad \text{وبالتالي} \quad \left(\frac{1}{2.54}\right) = 1\text{cm}$$

وبالتالي تصبح النتيجة:

$$1\ \text{kg}/\text{cm}^2 = \frac{2.24\ \text{lb}}{\left(\frac{1}{2.54}\right)^2} = 2.24 \times 6.45$$

$= 14.5$ lb/ انش^2

$= 14.5$ PSi

تحويل $1\ \text{kg}/\ \text{cm}^2$ إلى $\text{N}/\ \text{m}^2$

$$1\ \text{kg} = 10\ \text{N}$$

$$1\ \text{cm}^2 = \left(\frac{1}{100}\right)^2\ \text{m}^2$$

$$= 1 \times 10^{-4}\text{m}^2$$

أي أن:

$$1\text{kg}/\text{cm}^2 = \frac{10\ \text{N}}{\left(\frac{1}{100}\right)^2\ \text{m}^2}$$

$$= \frac{10\ \text{N}}{10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$$= \frac{10\ \text{N} \times 10^4}{\text{m}^2}$$

$$= 10^5\ \text{N}/\text{m}^2$$

تحويل $1\ kg/cm^2$ إلى N/mm^2 :

$1\ kg = 10N$

$1\ cm = 10\ mm$

أو:

$1\ mm = \frac{1}{10}cm$

$1\ kg/cm^2 = 10N/(10 \times 10)\ mm^2$

$= \frac{10\ N}{100\ mm^2}$

$0.1\ N/mm^2$

تحويل $1\ kg/cm^2$ إلى kg/mm^2

$$1\ kg/cm^2 = \frac{1kg}{(10 \times 10)\ mm^2}$$

$$= \frac{1}{100}\ kg/mm^2$$

$$= 0.01\ kg/mm^2$$

للتمرين والممارسة يمكن للطالب القيام بعمليات تحويل مختلفة مثل:

تحويل $1kg/m^2$ إلى:

kg/mm^2

kg/Cm^2

N/m^2

N/Cm^2

2-5 الضغوط المطلقة والضغوط المقاسة:

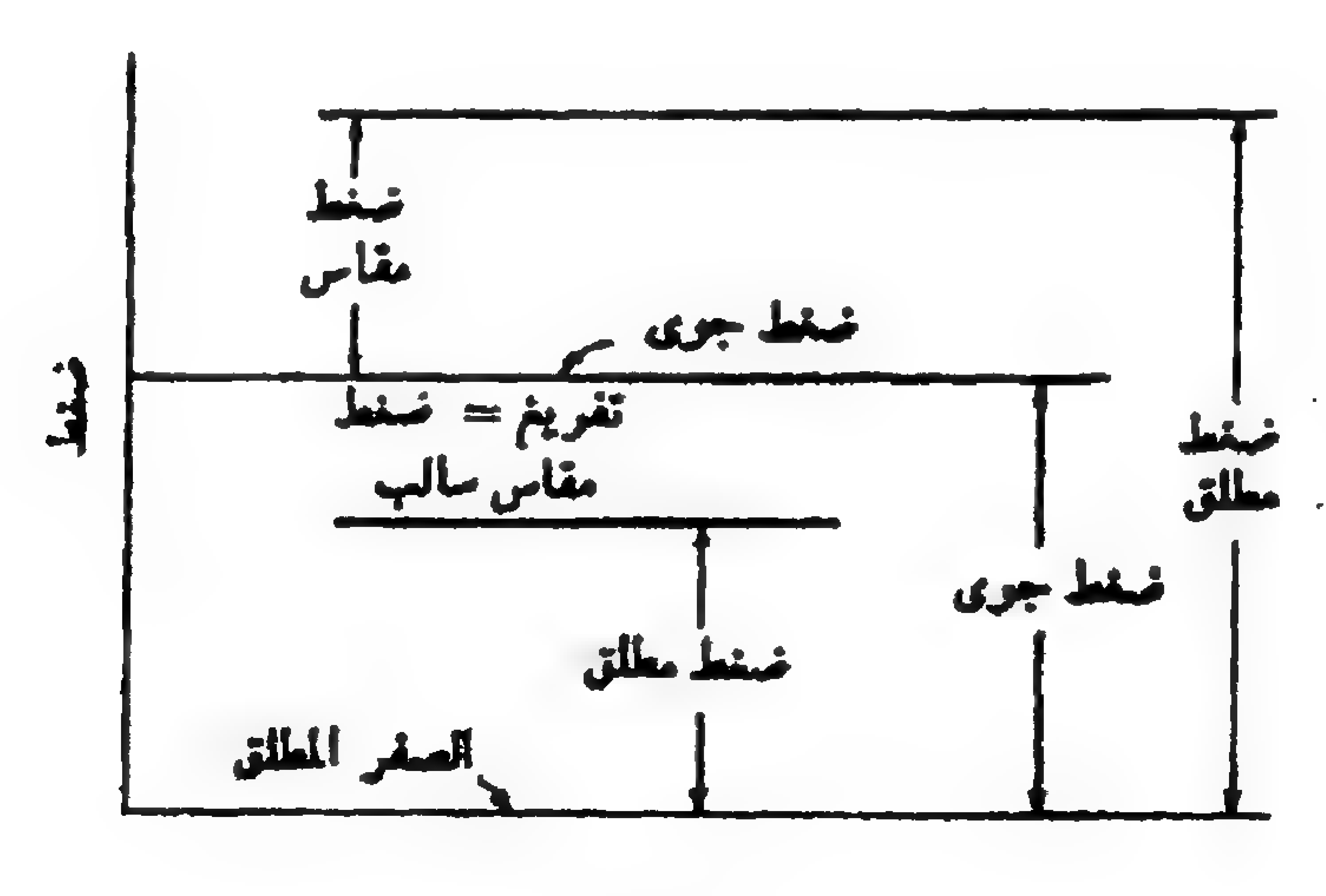
يسمى الضغط ضغطاً مطلقاً إذا تم قياسه نسبةً إلى الصفر المطلق. وذلك لان جميع الأجهزة من الناحية العملية تقيس الضغط نسبة إلى الضغط الجوي، وهي بالتالي تقيس الفرق بين ضغط الوسط المراد قياس ضغطه والضغط الجوي المحيط.

الضغط المطلق يكون موجباً دائماً. لأن الضغط السالب يعني الشد بدلاً من الضغط. وإذا كان الضغط المراد قياسه أقل من الضغط الجوي (ضغطاً سالباً) يعبر عنه بضغط التفريغ، وقيمته المقاسة هي مقدار انخفض ضغط التفريغ دون الضغط الجوي.

من هنا يمكن القول أن الضغط المطلق هو الضغط الجوي مضافاً إليه الضغط المقاس.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_g \quad (2\text{-}6)$$

ويبين الشكل 5-2 العلاقة بين الضغط الجوي، الضغط المقاس والضغط المطلق.



شكل 5-2

يتضح من العلاقة السابقة ومن الشكل 5-2 ان الضغط المطلق يكون أقل من الضغط الجوي في حال كان الضغط المقاس سالباً. ويكون مساوياً للضغط

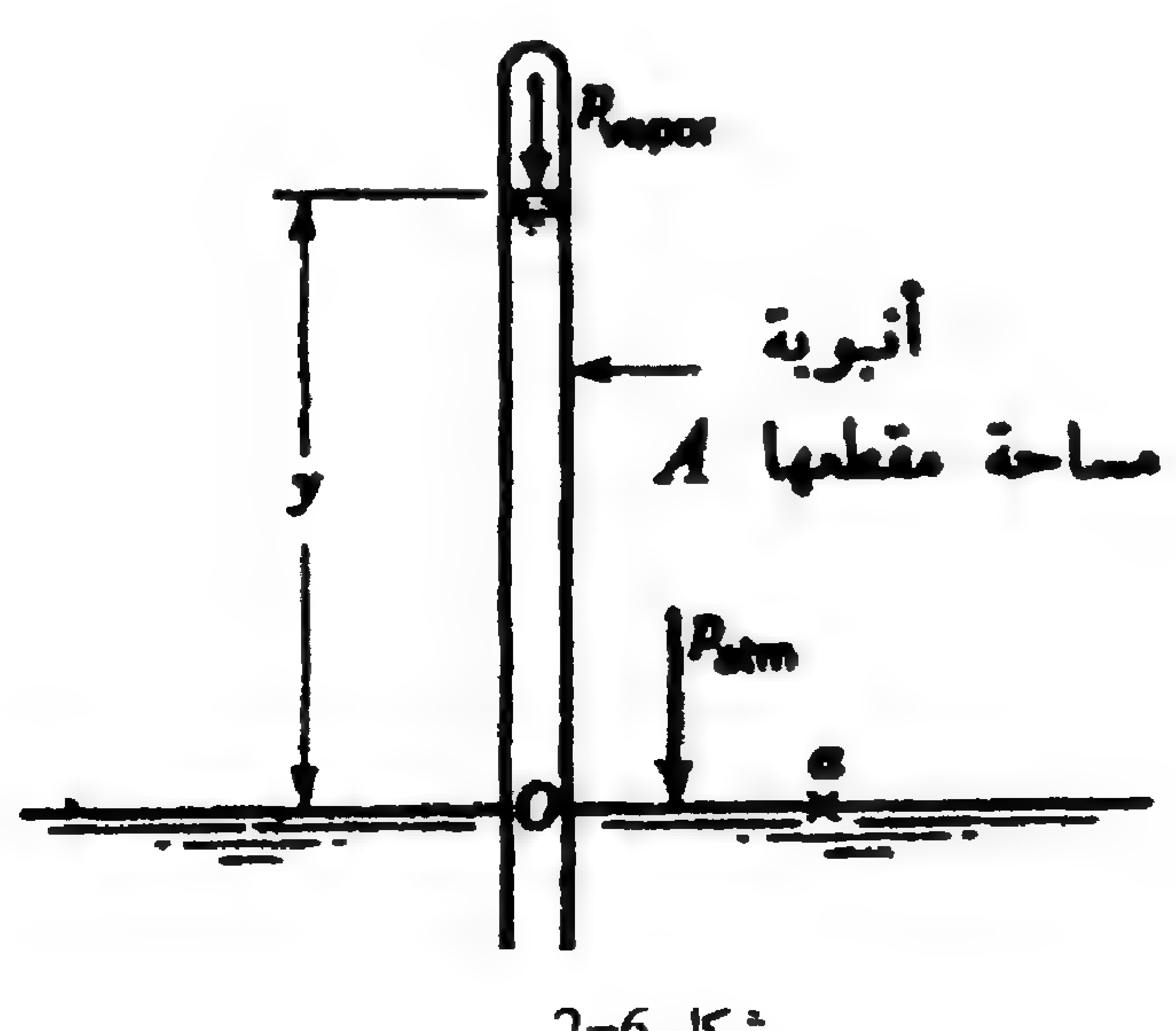
الجوي إذا كان الضغط المقاس صفراً، ويكون أكبر من الضغط الجوي إذا كان الضغط المقاس موجباً.

يسمى الضغط الجوي كذلك الضغط البارومتري وهو وزن عمود الهواء المؤثر على وحدة المساحة، وهو بالتالي يمكن أن يتغير من مكان إلى آخر، ويقل مقدار الضغط الجوي كلما ارتفعت المنطقة عن مستوى سطح البحر، ويتغير كذلك بتغير الأحوال الجوية (ازدياد أو انخفاض كثافة الهواء).

تتأثر خواص الغازات كثيراً بتغير الضغط لذا يجب استخدام الضغط المطلق دائماً. بينما يقل تأثر خواص السوائل بتغير الضغط. وغالباً ما يظهر الضغط الجوي على جانبي المعادلة ويتلاشى تأثيره. لذا فإن قيمة الضغط الجوي ليست ذات تأثير كبير عند التعامل مع السوائل. لذا يتم استخدام الضغوط المقاسة غالباً في السوائل.

2-6 البارومیتر:

وهو أنبوب يستخدم لقياس الضغط الجوي. وتتم كما يلي: كما يبين الشكل 6-2



شكل 6-2

يوضع أنبوب في المائع وطرفة المغلق إلى الأعلى. بحيث يكون سطح المائع معرضا للضغط الجوي. وإذا ما تم تفريغ الهواء من الأنبوب فإن السائل سيرتفع في الأنبوب ليملأ الفراغ الناتج، وإذا تم تفريغ الأنبوب من الهواء تماما فإن السائل سيرتفع إلى أقصى ارتفاع له بحيث يكون هذا الارتفاع متناسبا مع مقدار الضغط الواقع على سطح السائل. وبما أن الضغط الوحيد الواقع على سطح السائل هو الضغط الجوي، فإن مقدار ارتفاع السائل في الأنبوب يعادل الضغط الجوي.

عند تفريغ الأنبوب من الهواء يحدث أن يتبخر جزء من السائل داخل الأنبوب وفي النهاية ينحصر البخار في الجزء العلوي من الأنبوب فوق سطح السائل ولكن ضغطه وتأثيره يكون محدوداً بحيث يمكن إهماله.

من المفاهيم الموضحة في البند 2-2 فإن الضغط عند النقطة (O) يجب أن يكون مساويا للضغط على سطح السائل وذلك من شروط الاتزان الاستاتيكي للسائل.

أي أن:

$$P_{atm} \cdot A - P_{vapor} \cdot A - \gamma \cdot A \cdot y = O$$

ومع إهمال ضغط البخار تصبح العلاقة:

$$P_{atm} \cdot A - \gamma A \cdot y = O$$

أي أن:

$$P_{atm} \cdot A = \gamma \cdot A \cdot y$$

أو:

$$P_{atm} = \gamma y \quad \text{.......} \quad (2\text{-}4)$$

من الجدير بالملاحظة أن قيمة y تتناسب عكسياً مع قيمة "γ" وتزداد قيمة γ كلما انخفضت "γ" والعكس صحيح.من هنا ولكي لا يتم استخدام أنابيب طويلة يجب استخدام مائع ذو كثافة عالية، وغالبا ما يتم استخدام الزئبق، كما وأنه يمكن إهمال ضغط بخار الزئبق لصغره. بينما يزداد تأثير بخار السائل في

حالة استخدام سائل آخر غير الزئبق، كما وأن الأنبوب يكون طويلاً في هذه الحالة، وغير عملي ويصعب الوصول إلى الفراغ الكامل فيه. أضف إلى ذلك أن الزئبق لا يلتصق بجدران الأنبوب. ولا يؤثر على دقة القراءات.

نظراً لأن الضغط الجوي عند سطح البحر يستخدم بكثرة في المسائل، فمن الملائم الاحتفاظ به في الذاكرة دائماً.

وهو كما يلي بمختلف الوحدات.

الضغط الجوي = 14.7Psia

= $101.3\ KN/m^2$ أو باسكال.

= 0.76 cm زئبق

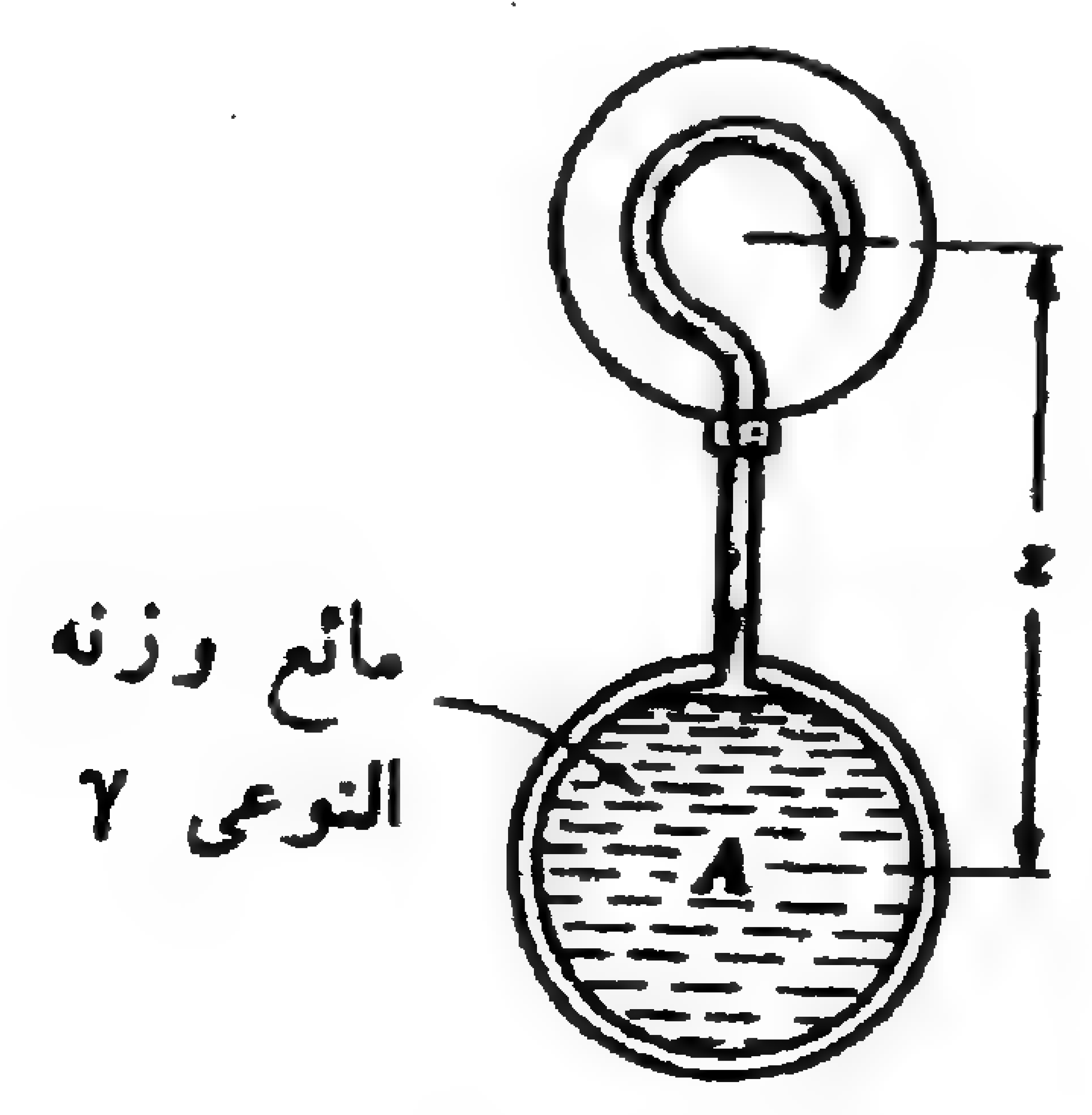
= 10.3 m ماء.

2-7 قياس الضغط:

توجد عدة طرق لقياس الضغط، وفيما يلي بعض منها:

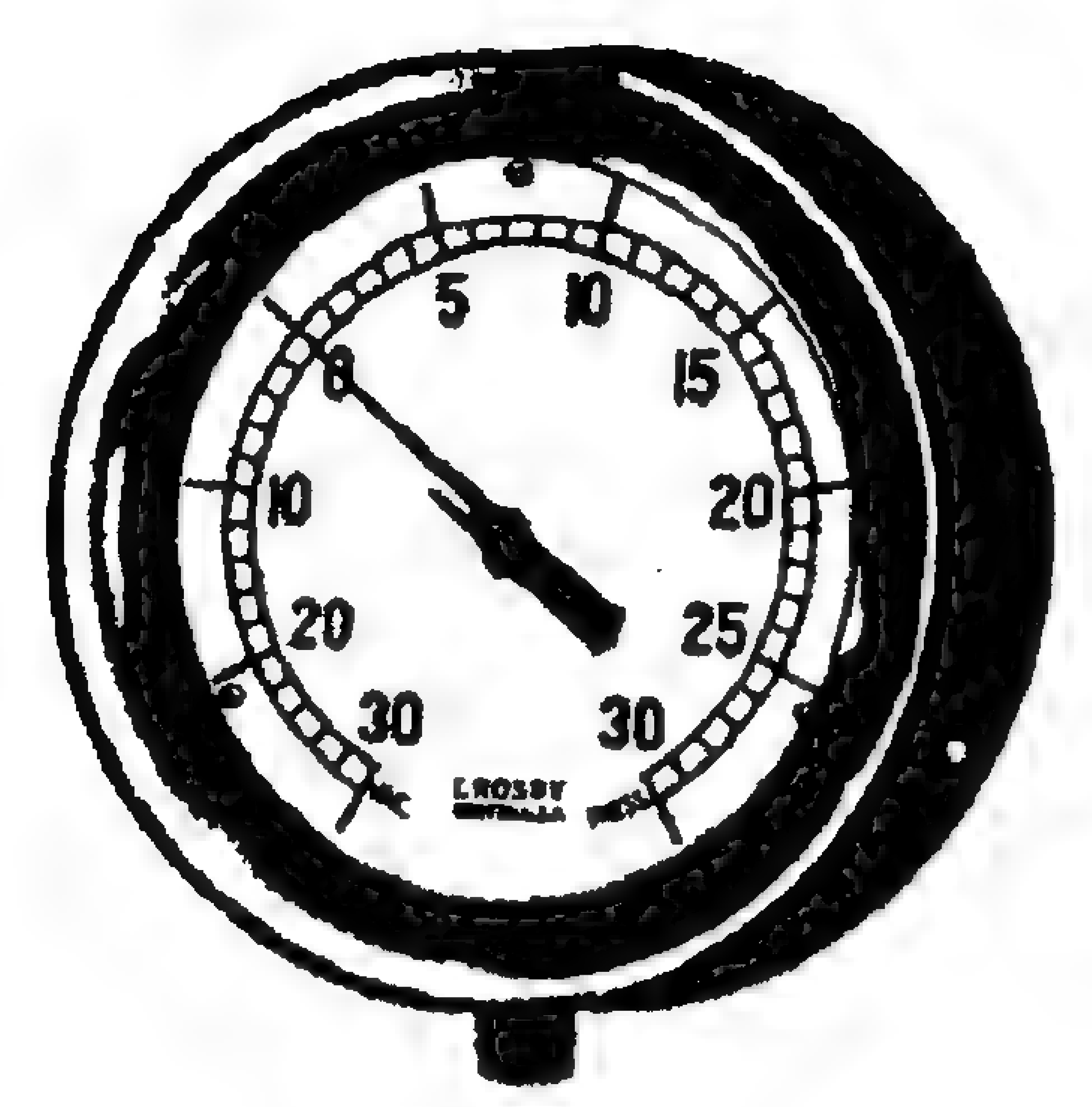
1- مقياس بوردون:

غالباً ما يتم قياس الضغوط الموجبة والسالبة (التفريغ) بواسطة مقياس يوردن المبين في الشكل 7-2.



شكل 7-2 مقياس بوردون

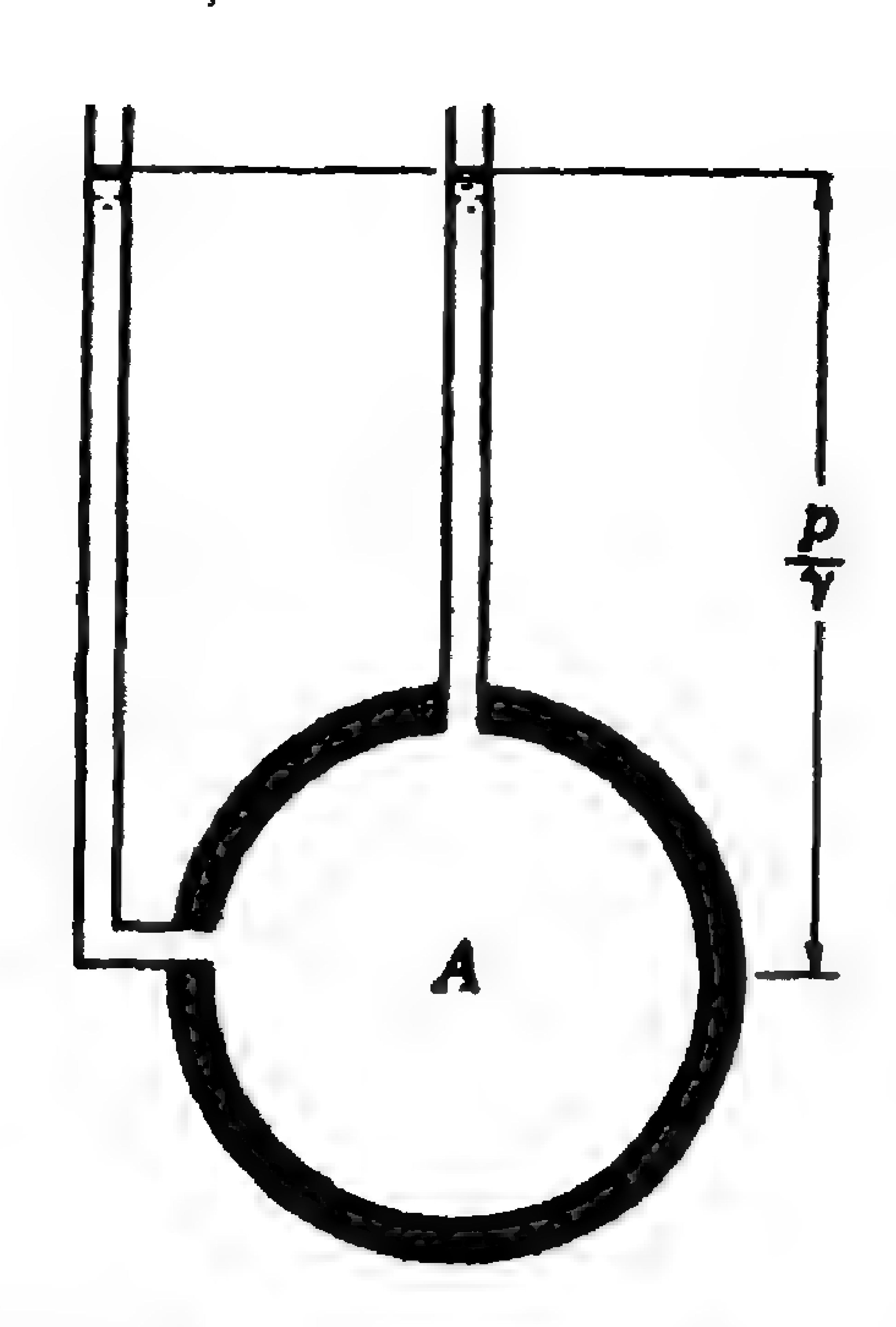
حيث يوجد داخل هذا المقياس أنبوب مقوس أحد طرفيه حر، ويتغير مقدار هذا التقوس بتغير مقدار الضغط المؤثر عليه وعندما يتحرك الطرف الحر فإنه يحرك معه المؤشر من خلال مجموعة من الوصلات.يمكن لهذا الجهاز قياس ضغط التفريغ كذلك وفي هذه الحالة يكون للجهاز تدريج في الاتجاهين الموجب والسالب ويكون وضع الصفر في وسط الجهاز كما في شكل8-2.



شكل 8-2 مقياس مركب للضغط والتفريغ. الضغوط بوحدات أرطال على البوصة المربعة، التفريغ بوحدات بوصة مربعة

2- عمود البيزوميتر:

يعتبر عمود البيزوميتر وسيلة بسيطة لقياس الضغوط المتوسطة للسوائل ويتركب كما في الشكل (9-2) من أنبوب يرتفع حراً بداخله السائل دون أن يفيض. ويعطي ارتفاع السائل في الأنبوب قيمة سمت السائل مباشرة. للتقليل من تأثير الخاصية الشعرية يجب ألا يقل قطر الأنبوب عن (12mm).

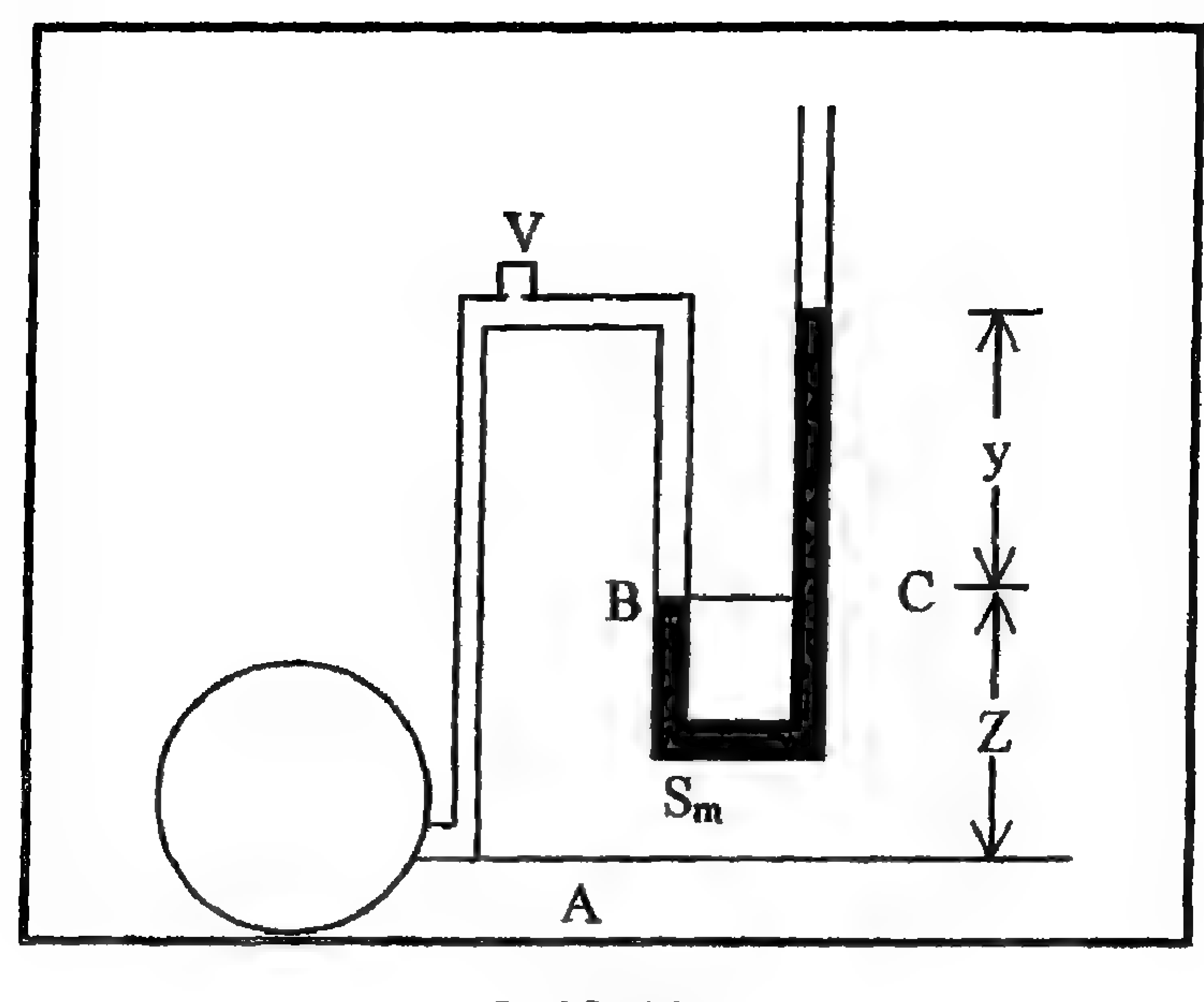


شكل 9-2 البيزومتير (لقياس p/γ للسوائل فقط)

إذا تم استخدام عمود البيزوميتر لقياس ضغط مائع يجري داخل أنبوب فيجب مراعاة ألا تكون وصلة العمود بارزة داخل الأنبوب، ويجب كذلك أن يكون الثقب عمودي على سطح الأنبوب وألا يترك رايش أو أية عوائق أخرى داخل الأنبوب.

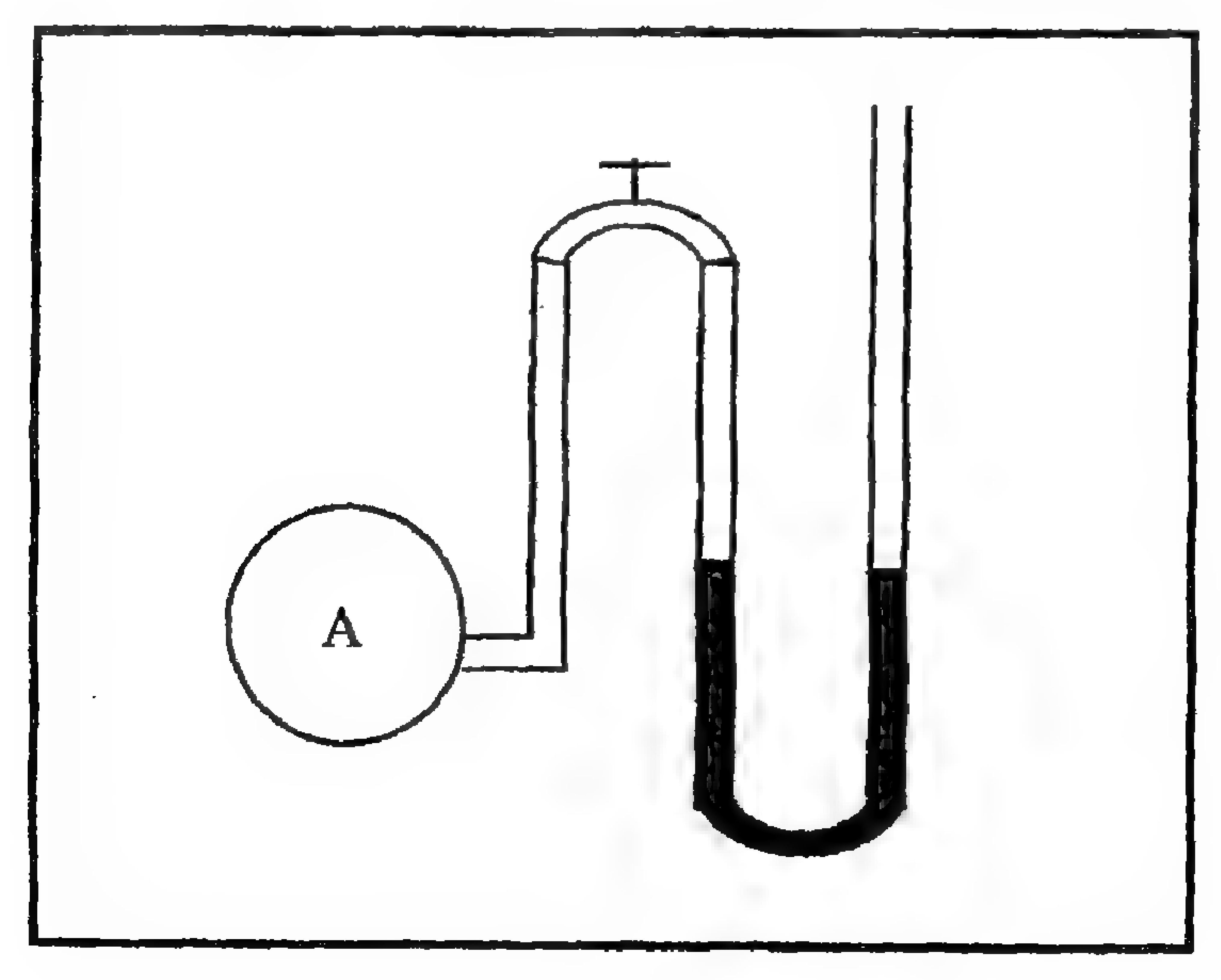
3- المانوميتر البسيط:

نظراً لأن أنبوب البيزوميتر غير شائع الاستخدام لقياس الضغوط المتوسطة والمرتفعة للسوائل بسبب الحاجة إلى أنبوب طويل، وبسبب عدم إمكانية استخدامه لقياس ضغط الغازات، فإن أنبوب المانوميتر البسيط أو أنبوبة على شكل حرف U الزئبقية (شكل 10-2). تصبح وسيلة مناسبة لهذا الغرض.



شكل 10-2

يحتوي المانوميتر على صمام (V) يستخدم لطرد الهواء من النظام. السائل الذي يظهر في المانوميتر باللون الأسود يكون في البداية قبل فتح الصمام في الوضع المبين في الشكل (11-2).



شكل 11-2

وعند فتح الصمام يبدأ ناشر المائع الموجود داخل الأنبوبA حيث يقوم بدفع مائع المانوميتر (شرط ألا يحدث امتزاج بين المائعين). بمقدار يتناسب مع الضغط داخل الماسورة A. لذا يفضل أن يكون مائع المانوميتر أثقل نوعيا من المائع المراد قياس ضغطه. وغالبا ما يستخدم الزئبق لهذه الغاية. وعند استقرار وضع الموائع داخل المانوميتر. يتم أخذ القراءات (Z, y) المبينة في الشكل (10-2). ومن ثم كتابة معادلة المقياس على أساس العلاقات الهيدروستاتيكية. ويفضل عادةً كتابة جميع أطراف المعادلة بدلالة عمود المائع (الأمتار) المراد قياس ضغطه. لذا يجب معرفة كثافة المائع المراد قياس ضغطه وكثافة مائع المانوميتر.أو النسبة بين الكثافتين (S).

حيث: S

$$S = \rho_m / \rho_F \quad \text{......(2-5)}$$

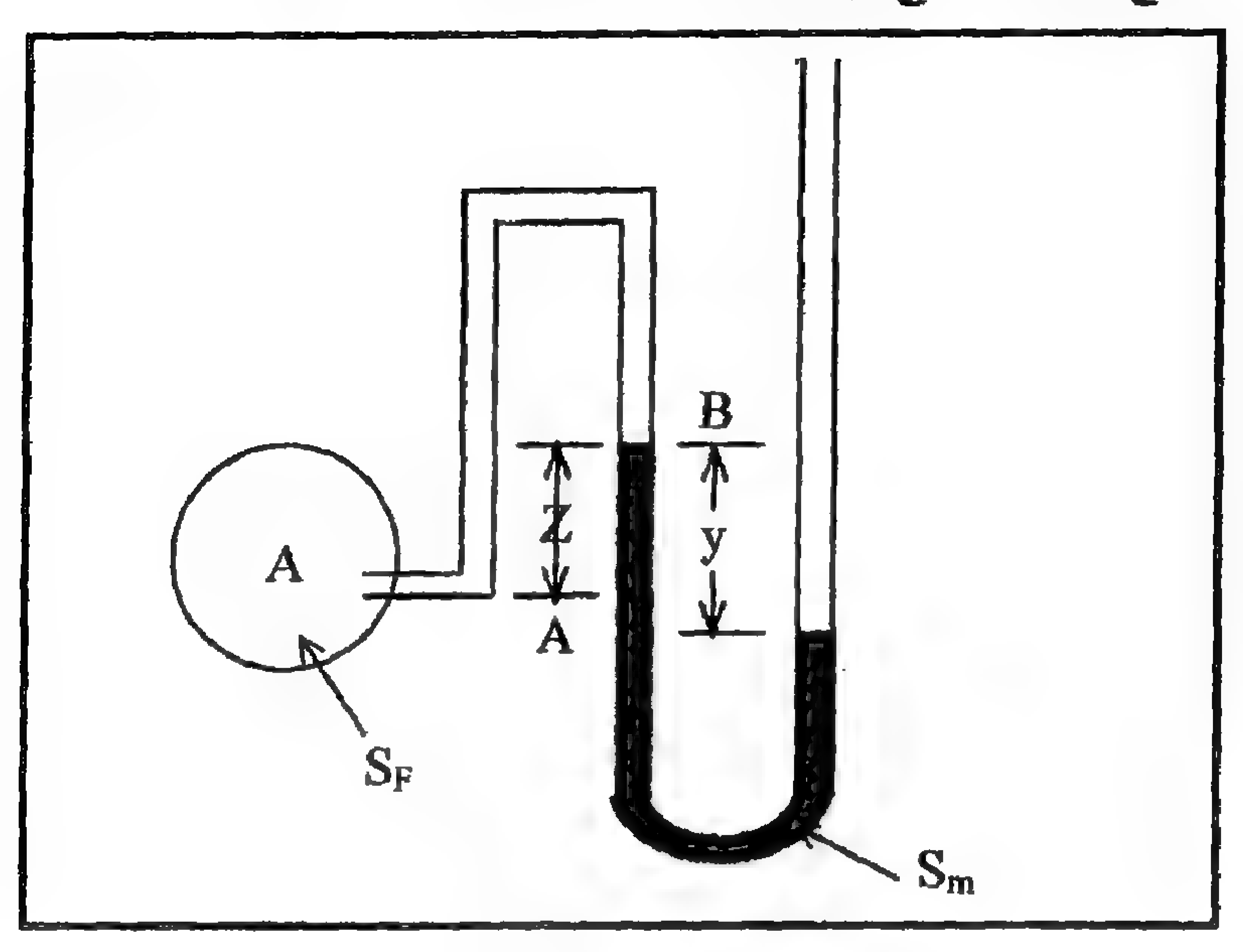
وفي هذه الحالة فإن سمت الضغط عند النقطة C في الشكل (10-2) يساوي S.y. وهو أيضاً سمت الضغط عند النقطة B بينما يكون سمت الضغط عند النقطة A أكبر من ذلك بمقدار Z بافتراض أن المائع الموجود في AB هو نفس المائع في الماسورة A وفي هذه الحالة يمكن كتابة سمت الضغط عند A مباشرة. ولكن للحالات الأكثر تعقيداً فمن الأنسب البدء من الطرف المفتوح للمانوميتر حيث يكون الضغط أعلى الأنبوب المفتوح مساوياً للضغط الجوي، ومن ثم نزولا إلى النقطة C. وهنا تضاف الحدود في حالة الهبوط إلى الأسفل، وتطرح في حالة الصعود.من الملاحظ أن النقطة B تتعادل مع الارتفاع في الأنبوب المقابل ومن هنا نستمر في النزول حتى النقطة A، وبذلك تنزل مسافة Z وهذه القيم جميعها تعادل الضغط عند A وبذلك تصبح المعادلة.

$$(O) + Sy + Z = \frac{P_A}{\gamma} \quad \text{......(2-6)}$$

(O) وهي سمت الضغط في الطرف المفتوح للمانوميتر يمكن الاستعاضة عنها بمقدار الضغط الجوي إذا كان المطلوب إيجاد الضغط المطلق في الماسورة A.

وإذا كان المائع A في الماسورة غازاً فإنه يصبح من الممكن إهمال السمت Z بسبب انخفاض كثافة الغاز بالمقارنة مع كثافة مائع المانوميتر.

ويمكن كذلك الحصول على المعادلة (6-2)بوحدات الضغط بدلاً من وحدات السمت (ارتفاع عمود المائع بوحدة المتر).



شكل 12- 2

في حالة قياس ضغوط التفريغ كما في الشكل (12-2)تكون معادلة قياس الضغط تحت تأثير نفس الظروف وبتطبيق قاعدة الإضافة عند الانخفاض والطرح عند الارتفاع تصبح المعادلة كما يلي:

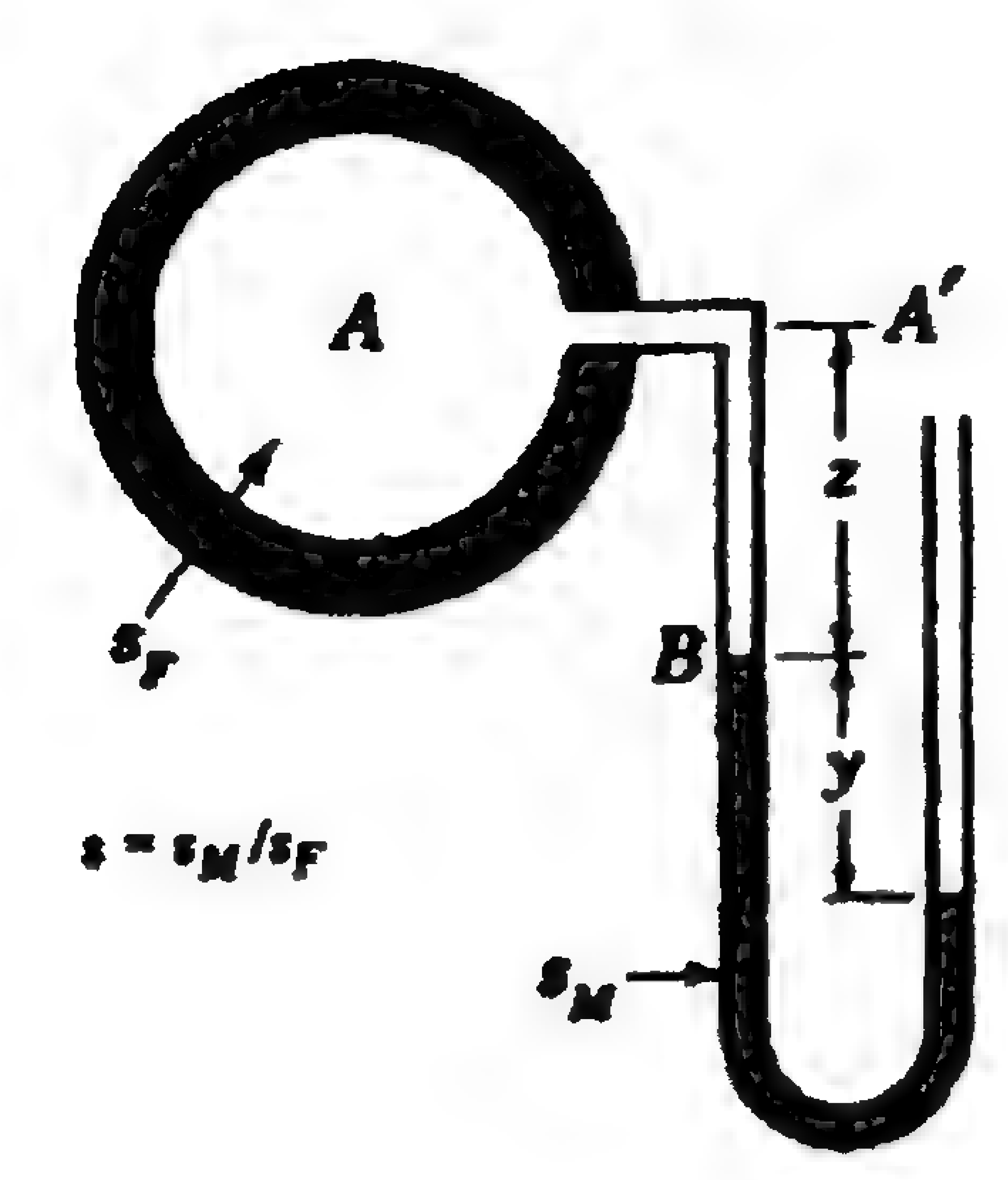
$$O\text{-}Sy + Z = \frac{P_n}{\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}7)$$

حيث يشير (O) إلى عدم إضافة قيمة الضغط الجوي وبالتالي يكون P_A/γ هو قيمة الضغط المقاس، وإذا كان المطلوب هو الضغط المطلق فيجب استبدال (O) بقيمة الضغط الجوي.

أما الشكل (13-2) فهو يستخدم أيضاً لقياس ضغوط التفريغ ومعادلته هي:

$$\frac{P_n}{\gamma} = -(Z+S_y) \quad \text{.......................................} \quad (2\text{-}8)$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = -(Z+Sy)$$



شكل 13-2

جميع المعادلات السابقة تحت بند المانوميتر في الصيغة المعطاة تؤدي إلى إعطاء قيمة الضغط بدلالة عمود السائل (السمت).

ويمكن لهذه المعادلات أن تكون بصيغة أخرى بحيث تعطي الضغط بوحدات الضغط مثل باسكال كما يلي:

لنأخذ المعادلة (6-2) كمثال:

$$P_A = \gamma_m y + \gamma_f Z$$

حيث:

γ_m: الوزن النوعي لمائع المانوميتر.

γ_f: الوزن النوعي للمائع المراد قياس ضغطه.

بقسمة طرفي المعادلة على γ_f نحصل على:

$$P_A / \gamma_f = \frac{\gamma_m}{\gamma_f} y + \frac{\gamma_f}{\gamma_f} Z$$

$$P_A / \gamma_f = Sy + Z$$

حيث $S = \frac{\gamma_m}{\gamma_f}$ كما بينا سابقاً.

من الجدير بالملاحظة أنه يجب مراعاة أن تكون جميع الوحدات متجانسة، إذ لا يجوز أن يكون بعضها بوحدة المتر وبعضها بوحدة السنتميتر مثلاً. أو أن يكون الوزن النوعي بوحدة N/m^2 لأحد الموائع وبوحدة أخرى للمائع الآخر وإلا فإننا نحصل على إجابات خاطئة.

المانوميتر الفرقي:

في كثير من الحالات يكون المطلوب فقط إيجاد الفرق بين ضغطين. ولهذا الفرض يمكن استخدام المانوميتر الفرقي الموضح في الشكل (2-14) (أ، ب). ففي الشكل (أ) يمكن استخدام الهواء كما مع المانوميتر إذا كان فرق الضغط بين B, A قليلا. وعلى فرض أن نفس المائع موجود في B, A. وباستخدام طريقة الطرح في حالة الصعود والإضافة في حالة الهبوط تكون المعادلة كما يلي:

$$P_B - Y\gamma_m + Y\gamma_f = P_A$$

أو :

$$P_A - P_B = Y\gamma_f - Y\gamma_m$$

بقسمة طرفي المعادلة على γ_f نحصل على:

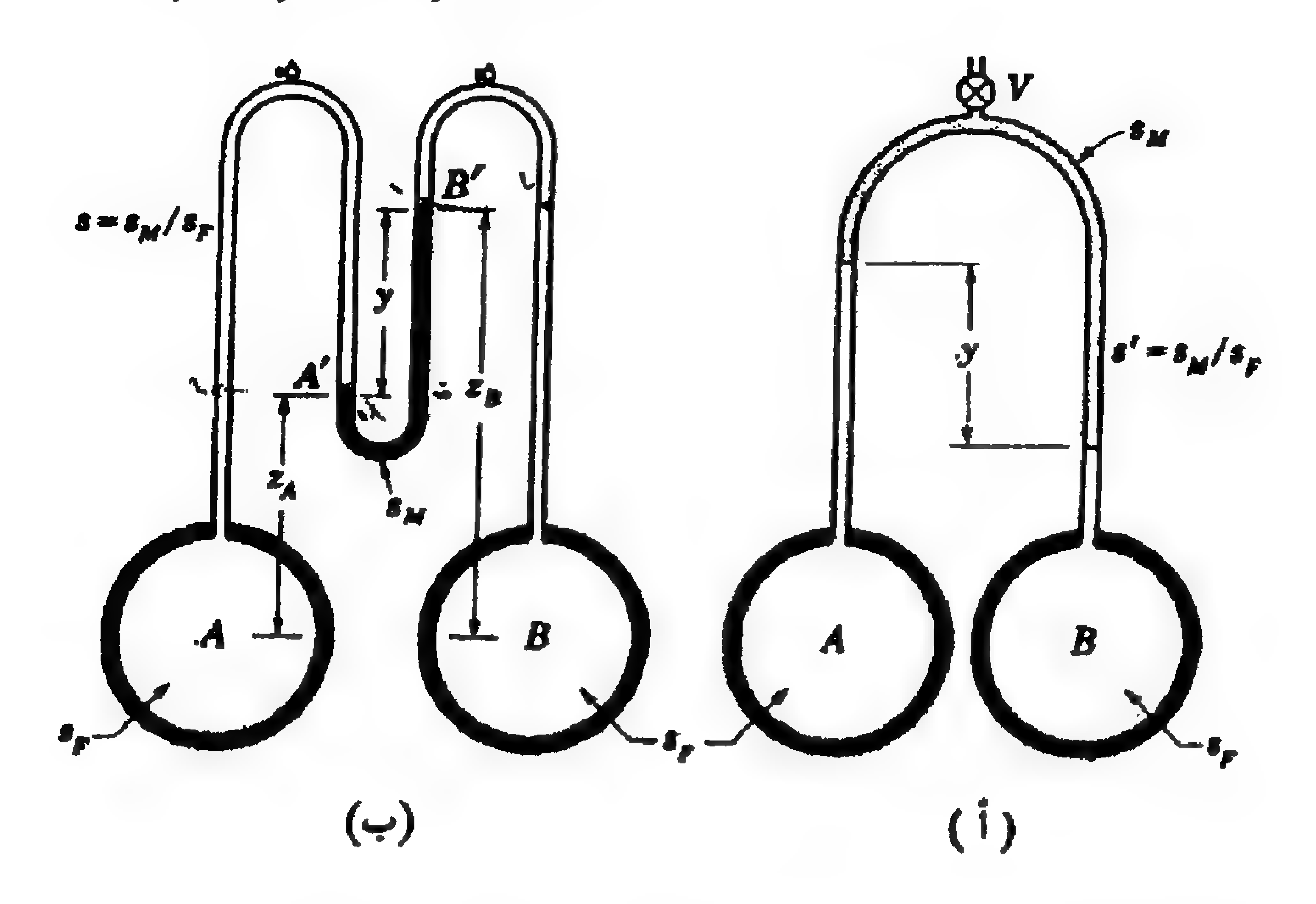
$$\frac{P_A - P_B}{\gamma_f} = Y - Y\frac{\gamma_m}{\gamma_f}$$

$$\Delta P = Y(1 - S) \quad \text{......} \quad (2\text{-}9)$$

أما في الشكل (2-14) (ب)وفي حالة وجود فرق كبير في الضغط فمن الأنسب استخدام مانوميتر فرقي ذو مائع عال الكثافة وباستخدام نفس الطريقة السابقة تكون المعادلة:

$$P_B/\gamma_f - Z_B\,\gamma_f + y\gamma_m + Z_A\,\gamma_f = \frac{P_A}{\gamma_f}$$

$$\frac{P_A}{\gamma_f} - \frac{P_B}{\gamma_f} = \frac{Z_A - Z_B}{\gamma_f} + y.\gamma_m$$



شكل 14-2 المانوميتر الفرقية (أ) لقياس Δp في السوائل والغازات (ب) لقياس Δp في السوائل فقط

وبقسمة طرفي المعادلة على γ_f نحصل على:

$$P_A - P_B = Z_A - Z_B + SY \quad \text{(2-10)}$$

ومن الجدير بالملاحظة أننا سنحصل على نفس المعادلة في حال بدأنا بتطبيق القاعدة السابقة من الأنبوب A بدلا من B كما يلي:

$$P_A.\,\gamma_f - Z_A\,\gamma_f - y\gamma_m + Z_B\gamma_f = P_B.\,\gamma_f$$

وبإعادة ترتيب أطراف المعادلة نجد أن:

$$P_A - P_B = (Z_A - Z_B)\,\gamma_f + y\gamma_n$$

بقسمة طرفي المعادلة على γ_f

$$\Delta P = (Z_A - Z_B) + y.S$$

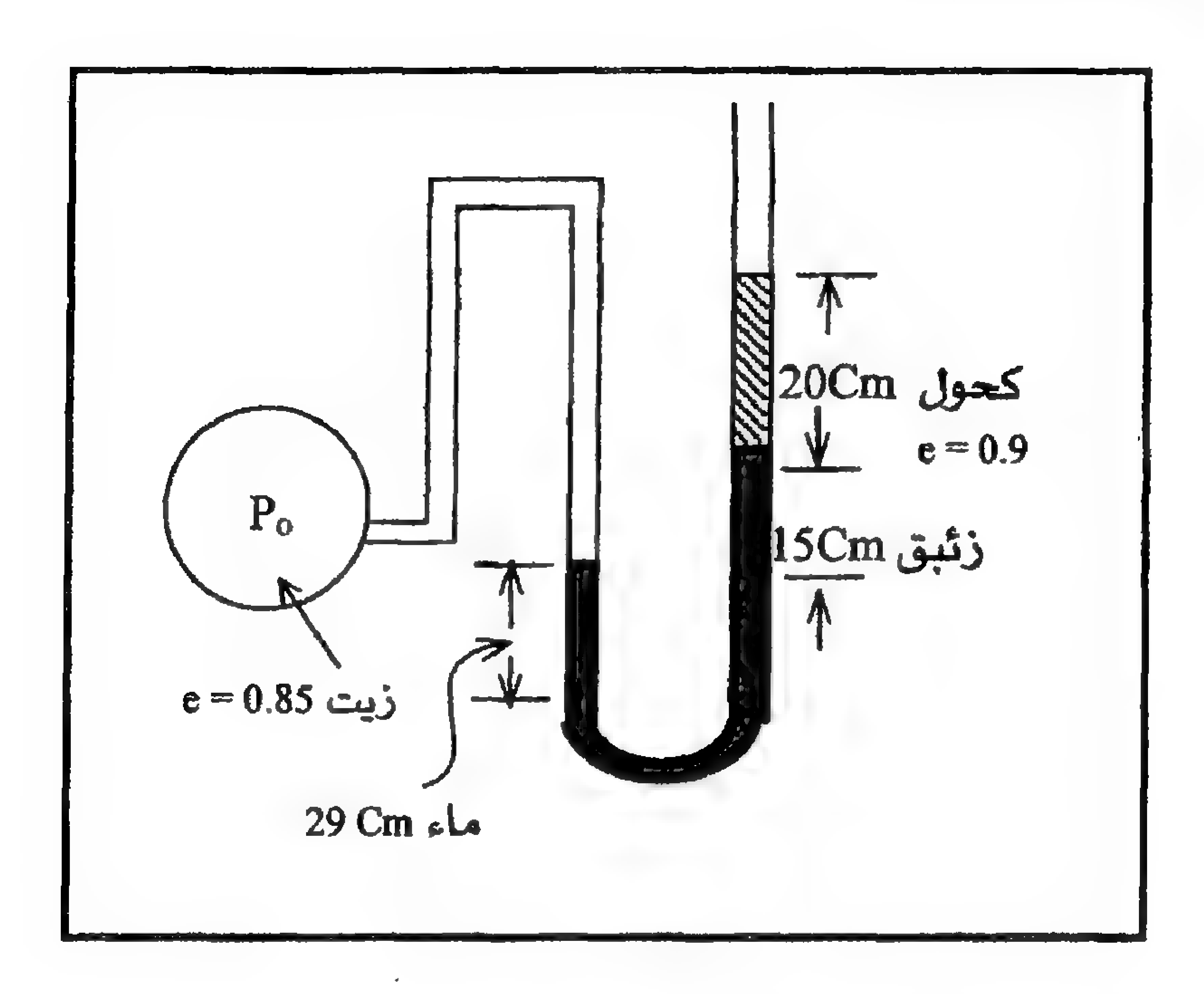
وهي نفس النتيجة السابقة.

في حال وجود اختلاف في المستوى عن (الخط المرجعي بين B, A فيجب أخذ ذلك بعين الاعتبار.

أمثلة محلولة

مثال 1:

أوجد الضغط المطلق داخل الأنبوب بدلالة عمود الزيت علماً بأن الضغط الجوي يعادل 10.3m ماء.



الحل:

نحول قيمة الضغط الجوي إلى ما يعادله من عمود المائع في الماسورة

زيت (e.g.h) = (e.g.h) ماء

$$0.85 \times 1000 \times 9.81 \times h_o = 1000 \times 9.81 \times 10.3$$

$$h_o = 12.18m$$

بالرجوع إلى الشكل وتطبيق القاعدة المتعارف عليها لإيجاد الضغط داخل الماسورة P_o، نبدأ من الطرف المفتوح للمانوميتر بإضافة جميع الحدود في حالة

الهبوط والطرح في حالة الصعود ومساواة النتيجة بالضغط P_o آخذين بعين الاعتبار تحويل جميع الحدود إلى ما يكافئها من عمود الزيت.

$$\frac{P_o}{\gamma} = H = (h\,S_1)_{\text{كحول}} + (h_2\,S_2)_{\text{زئبق}} + (h_3\,S_3)_{\text{ماء}} + P_{atm}$$

حيث $S = \dfrac{\text{كثافة مائع المانوميتر}}{\text{كثافة مائع الماسورة}}$

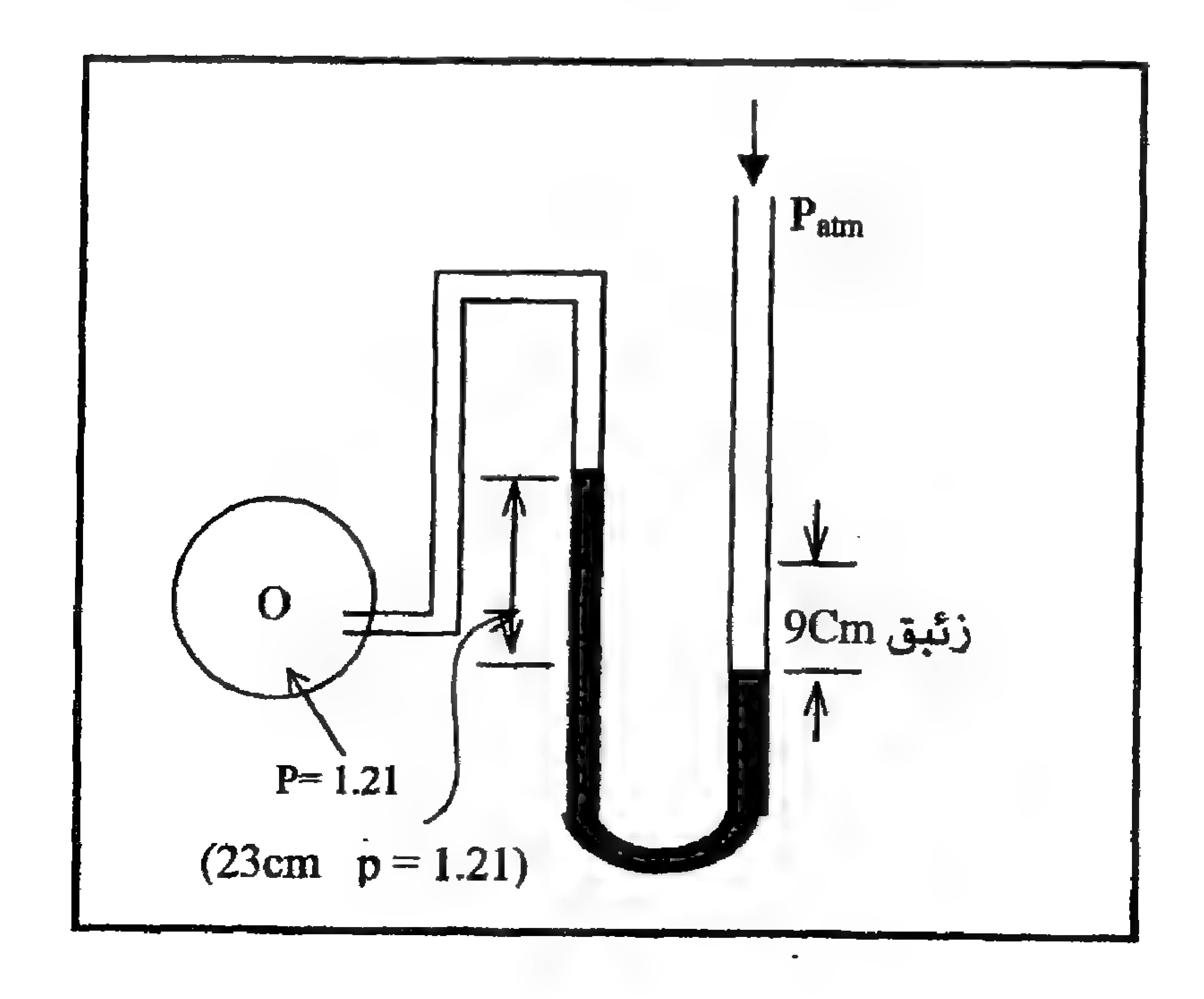
$$= 0.2 \times \frac{0.9\times1000\times9.81}{0.85\times1000\times9.81} + \frac{0.15\times13.6\times9.81\times1000}{0.85\times1000\times9.81} + \frac{1000\times9.81\times0.29}{0.85\times1000\times9.81} + 12.18$$

$$= 0.2 \times \frac{0.9}{0.85} + \frac{0.15\times13.6}{0.85} + \frac{0.29\times1}{0.85} + 12.18$$

$$= 0.218 + 2.4 + 0.34 + 12.18 = 15.13m$$

مثال 2:

في الشكل المبين أوجد الضغط المطلق داخل الماسورة:



1- بدلالة عمود المائع نفسه.

2- بوحدة N/m^2 (باسكال).

إذا علمت أن الضغط الجوي يساوي 101.3×10^3 Pas

الحل:

$$P_{oabs} = P_{at} - \frac{0.09\times13.6\times9.81\times1000}{1.21} + 0.23\times1.21\times10^3\times9.81$$

$$= 101.3\times10^3 - \frac{0.09\times13.6\times9.81\times1000}{1.21} + 0.23\times1.21\times10^3\times9.81$$

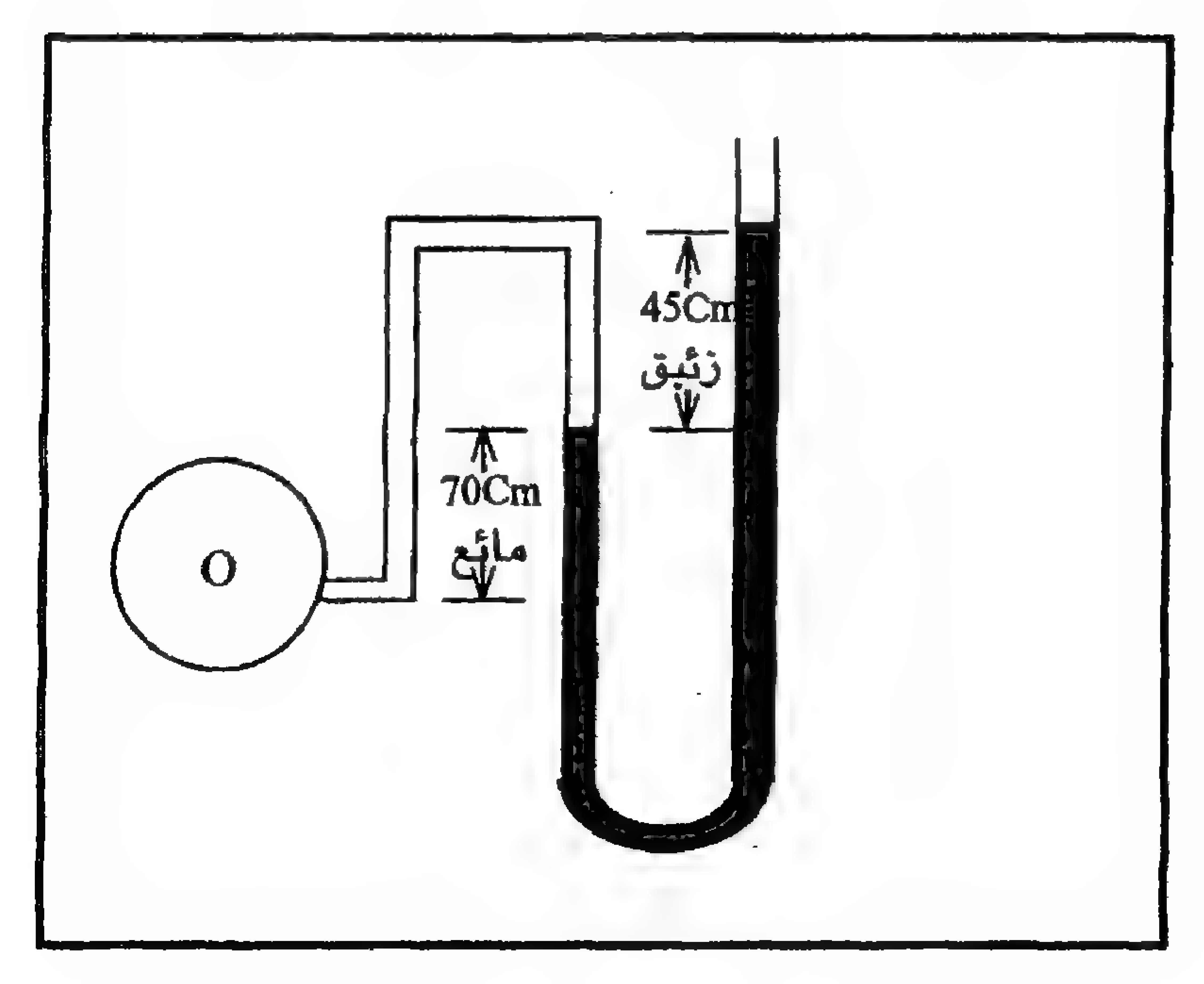
$$= 92.1 \times 10^3 P_{as}$$

$$P = \gamma.h \Rightarrow h = \frac{P}{\gamma}$$

$$= \frac{92.1\times10^3}{1.21\times9.81\times10^3}$$

$$= 7.76m$$

مثال 3:



في الشكل المبين أوجد كثافة المائع داخل الماسورة إذا كان الضغط المطلق بداخلها يعادل 17m ماء.

الحل:

$$P_{oabx} = P_{atm} + \gamma_m . h_m + \gamma_f . h_f$$

$$= 101.3 \times 10^3 \text{ Pas} + 13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times 0.45 + \gamma_f \times 0.7$$

$$1000 \times 9.81 \times 17 = 101.3 \times 10^3 + 60.04 \times 10^3 + \gamma_f \times 0.7$$

$$166.77 \times 10^3 = 101.3 \times 10^3 - 60.04 \times 10^3 = \gamma_f \times 0.7$$

$$5.43 \times 10^3 = = \gamma_f \times 0.7$$

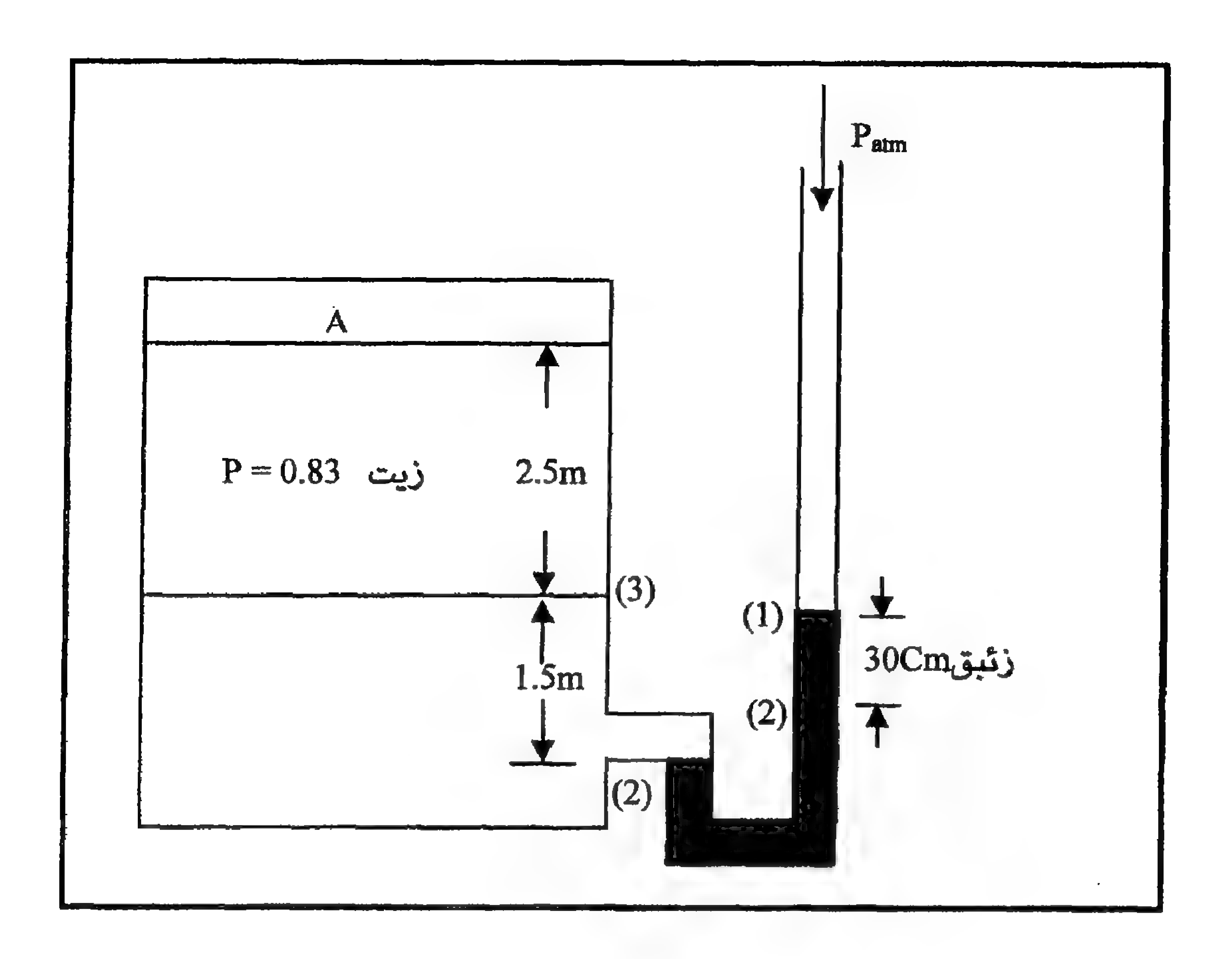
$$\gamma_f = \frac{5.43 \times 10^3}{0.7} = 3.194 \times 10^3 \text{ N/m}^3$$

$$e = \frac{\gamma}{g} = 0.326 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

يجب أن يلاحظ الطالب أنه قد تم كتابة معادلة الحل للأمثلة السابقة باستخدام أسلوب الإضافة عند الهبوط والطرح عند الصعود ابتداءاً من أحد طرفي المانوميتر (يفضل الطرف المفتوح) ووصولاً إلى النقطة المراد إيجاد الضغط عندها، حيث تم مساواة جميع الحدود المذكورة في المعادلة بحد الضغط عند تلك النقطة، وسنتابع استخدام نفس الطريقة في الأمثلة اللاحقة وتوضيح الحل بطريقة أخرى إذا لزم الأمر.

مثال 4:

في الشكل المبين أوجد الضغط المطلق عند A



$$P_{A\,ob} = P_{at} + 0.3 \times 13.6 \times 9.81 \times 10^3 - 1.5 \times 9.81 \times 10^3 - 0.83 \times 2.5 \times 9.81 \times 10^3$$

$$= 101.3 \times 10^3 + 4.95 \times 10^3 = 106.28 \times 10^3\ P_a$$

يمكن حل هذا المثال كغيره من المسال بطريقة مختلفة حيث يمكن التدرج بإيجاد الضغط عند نقاط مختلفة مثل النقاط (1، 2، 3).

$$P_1 = P_{at} = 101.3 \times 10^3\ Pa$$

ونظراً لان النقطة (2) منخفضة نسبة إلى النقطة (1) فإن الضغط عند (2) يكن أعلى من الضغط عند (1) بمقدار سمت المائع.

$P_2 = P_1 + (e.g.h)$ زئبق

$$= 101.3 \times 10^3 + 0.3 \times 9..81 \times 13.6 \times 10^3$$

$$= 101.3 \times 10^3 + 40.025 \times 10^3$$

$$= 141.325 \times 10^3 \text{ Ps}$$

الضغط المطلق عند النقطة (3) أقل منه عند (2) بمقدار ارتفاع عمود الماء.

$$P_3 = P_2 - 1.5 \times 9.81 \times 10^3$$

$$= 141.325 - 14.715 \times 10^3$$

$$= 126.61 \times 10^3 \text{ Pa}$$

الضغط المطلق عند A أقل منه عند (3) بمقدار ارتفاع عمود الزيت. أي أن:

$$P_{Aab} = P_3 - 2.5 \times 0.83 \times 9.81 \times 10^3$$

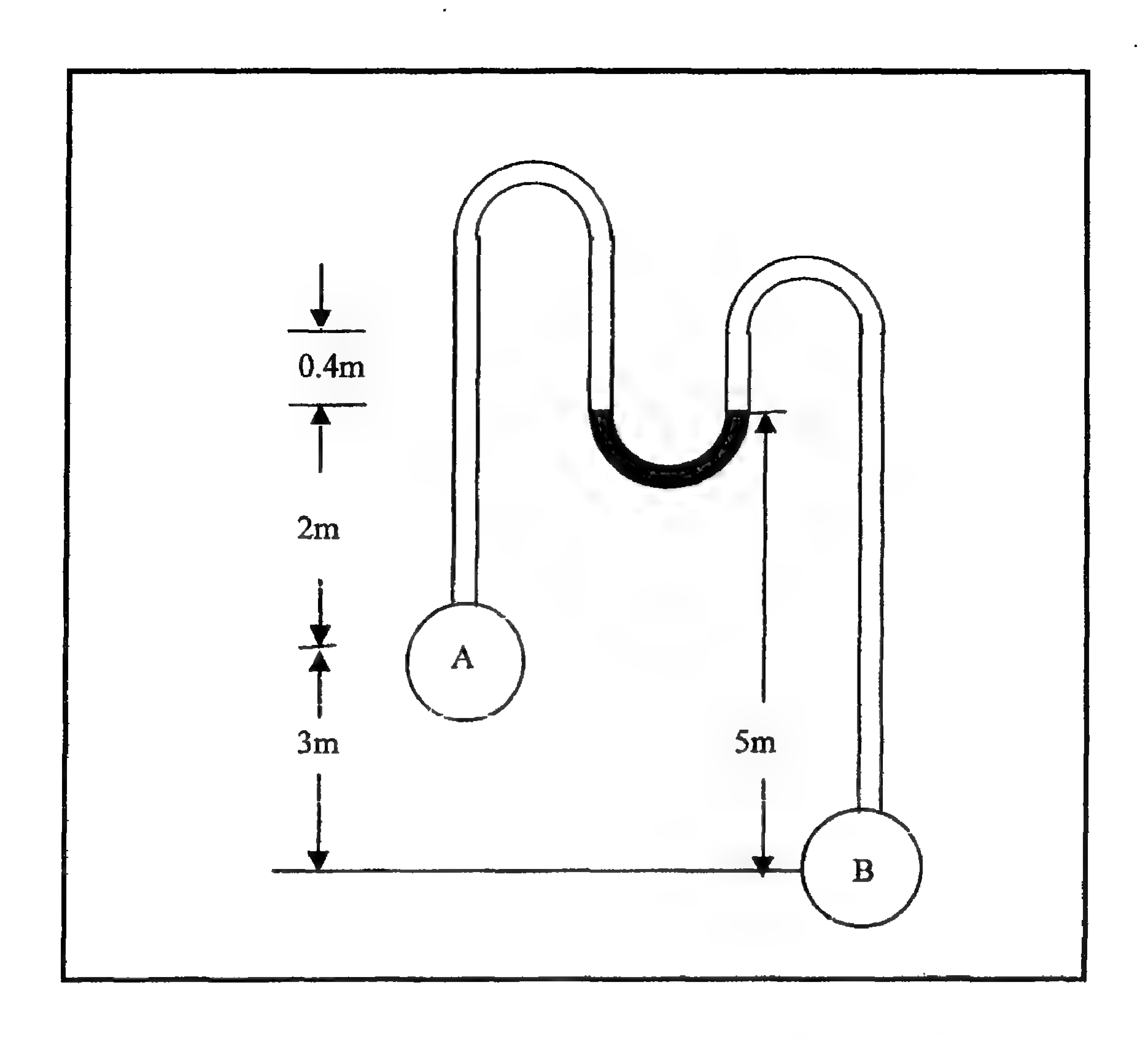
$$= 126.61 \times 10^3 - 20.356$$

$$= 106.25 \times 10^3 \text{ Pa}$$

وهذه نفس النتيجة التي تم الحصول عليها في الطريقة السابقة.

مثال 5:

في المانوميتر الفرقي المبين في الشكل كان الضغط في الماسورة B ($200 \times 103 N/m^2$). فإذا كان:



الوزن النوعي للمائع A $8.4 \times 10^3\ N/m^3$

الوزن النوعي للمائعB $12.3 \times 10^3\ N/m^3$

الوزن النوعي لمائع المانوميتر $13.6 \times 9.81 \times 10^3 N/m^3$

أوجد الضغط في الماسورة A.

الحل:

نظراً لاختلاف كثافة المائعين A و B فمن الأفضل التعبير عن الضغط بدلالة أحد المائعين، لنختار المائع B.

نكتب المعادلة انطلاقاً ممن الماسورة A.

$$\frac{P_A}{\gamma} - 2\times\frac{8.4}{12.3} - 0.4\times\frac{8.4}{12.3} + 0.4\times\frac{13.6\times9.81}{12.3} + 5 = \frac{P_B}{12.3}\ \text{p}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} - 1.366 - 0.27 + 4.34 + 5 = \frac{200}{12.3} = 16.25$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = 16.26 + 1.366 + 0.27 - 4.34 - 5 = 8.56\text{m}$$

وبما أنه قد تم اعتماد السحت بدلالة الوزن النوعي للمائع B لذا فإن:

$$P_A = 8.56 \times 12.3 = 105.3\ KP_a$$

من الممكن كذلك حل هذه المسألة باعتماد وحدة الضغط (الباسكال) وكتابة جميع الحدود بهذه الوحدة كما يلي :

$$P_A - 2 \times 8.4 \times 10^3 - 0.4 \times 8.4 \times 10^3 + 0.4 \times 13.6 \times 9.81 \times 10^3 + 5 \times 12.3 \times 10^3 = 200 \times 10^3\ \text{Pa}$$

$$P_A - 16.8 \times 10^3 - 3.36 \times 10^3 + 53.37 \times 10^5 + 61.5 \times 10^5 = 200 \times 10^3$$

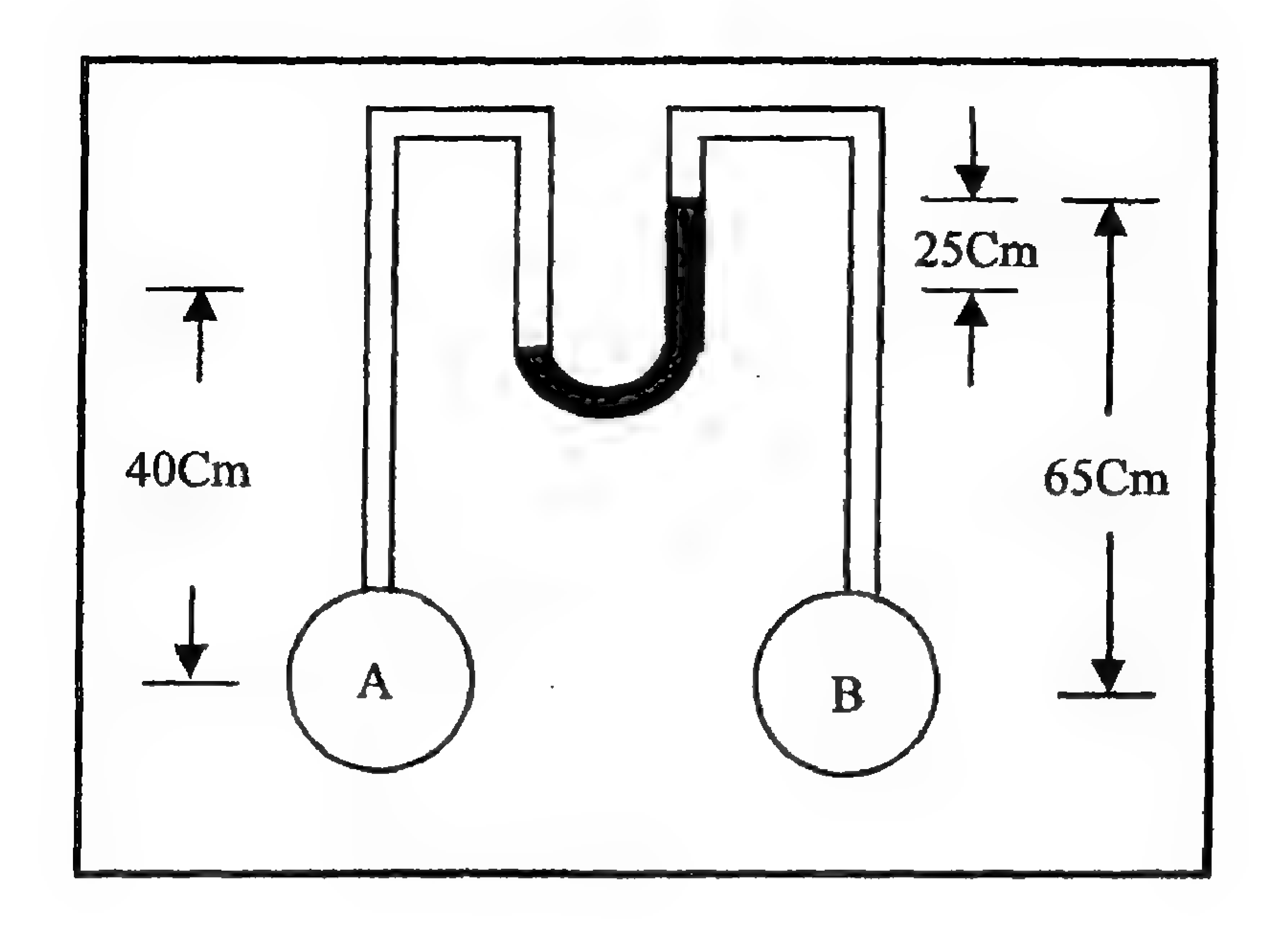
ومنه:

$$P_A = 105.3 \times 10^3\ \text{Pa}$$

وهي نفس النتيجة التي تم الحصول عليها في الطريقة السابقة.

مثال 6:

في المانوميتر الفرقـي المبـين في الشـكل (16-2) إذا كـان مـائع المانوميـتر الزئبق (e = 13.6) وكثافة المائع في B, A هي (e = 0.92) أوجد الفرق في الضغط بين B, A.



الحل:

بالرجوع إلى المعادلة (10-2).

$$\frac{P_A - P_B}{\gamma} = Z_A - Z_B + Sy$$

$$= 0.4 - 0.65 + \frac{13.6}{0.92} \times 0.25$$

$$= 3.45 \text{ m}$$

مثال 7:

في المثال السابق إذا كان $(e_A = 0.92)$و $(e_B = 1.2)$ وكان الضغط في A هو 190kpa.أوجد الضغط في B.

الحل:

نظراً لاختلاف كثافة المائعين B, A، فمن الأفضل التعبير عن العلاقة بدلالة أحد المائعين أو بوحدة N/m^2وستقوم بحل المثال بكلا الطريقتين.

الطريقة الأولى: سوف نختار المائع B للتعبير عن العلاقة بدلالته.

وسوف نكتب العلاقة انطلاقاً من (A) كما يلي:

$$\frac{P_A}{\gamma} - 0.4 \times \frac{0.92}{1.2} - \frac{0.26 \times 13.6}{1.2} + 0.65 = \frac{P_B}{\gamma}$$

$$\frac{190 \times 10^3}{1.2 \times 9.81 \times 10^3} - 0.3 - 2.83 + 0.65 = \frac{P_B}{\gamma}$$

$$16.14 + 0.65 - 2.83 - 0.3 = \frac{P_B}{\gamma}$$

$$= 13.66\text{m} = 13.66 \times 1.2 \times 9.81 \times 10^3 = 160.8 \times 10^3 \text{ Pa}$$

الطريقة الثانية:

$$P_A - 0.4\gamma_A - 0.25\,\gamma_m + 0.65\,\gamma_B = P_B$$

$$190 \times 10^3 - 0.4 \times 0.92 \times 9.81 \times 10^3 - 0.25 \times 13.6 \times 9.81 \times 10^3 + 0.65 \times 1.2 \times 9.81 \times 10^3 = P_B$$

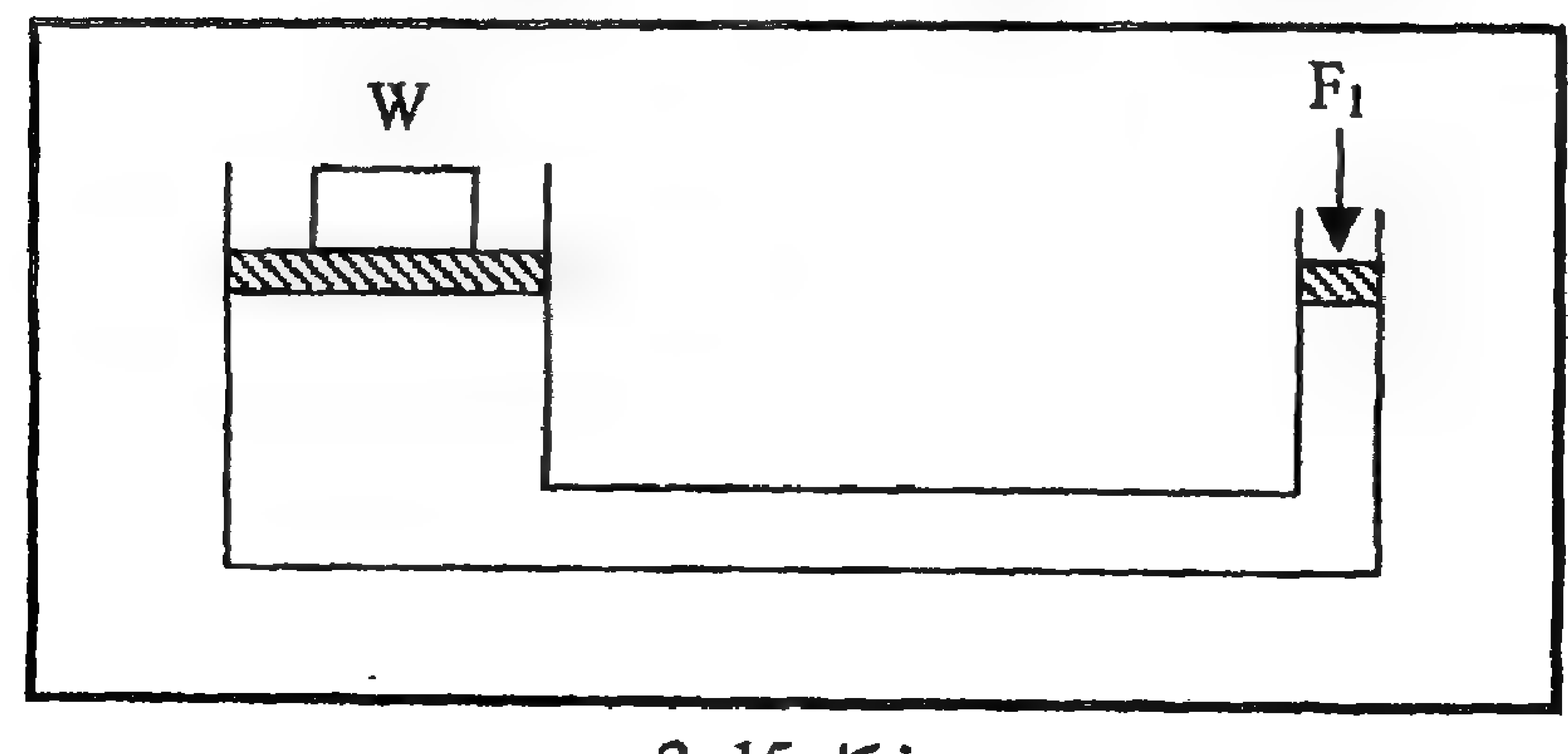
ومنه

$$P_B = 160.8 \times 10^3 \text{ P}_a$$

وهي بنفس النتيجة السابقة.

2-8 الروافع الهيدروليكية البسيطة:

تتألف من مكبسين أحدهما اكبر من الآخر قطراً.



شكل 15-2

متصلين مع بعضهما كما في الشكل (2-14) حيث يتم بذل قوة على المكبس الأصغر لرفع ضغط الزيت، وبما أن الزيت غير قابل للانضغاط ينتقل هذا الضغط ليؤثر على المكبس الأكبر وبذلك يتم رفع وزن (ثقل) كبير بجهد أقل.

فإذا تم بذل قوة مقدارها F_1 على المكبس الأصغر فإن الضغط (P_1) يساوي:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

ينتقل الضغط P_1 إلى المكبس الأكبر دون أن تتغير قيمته أي أن:

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2} = \frac{W}{A_2}$$

حيث W: الوزن المراد رفعه.

أي أن:

$$W = P_2 . A_2$$

وبما أن:

$$P_2 = P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

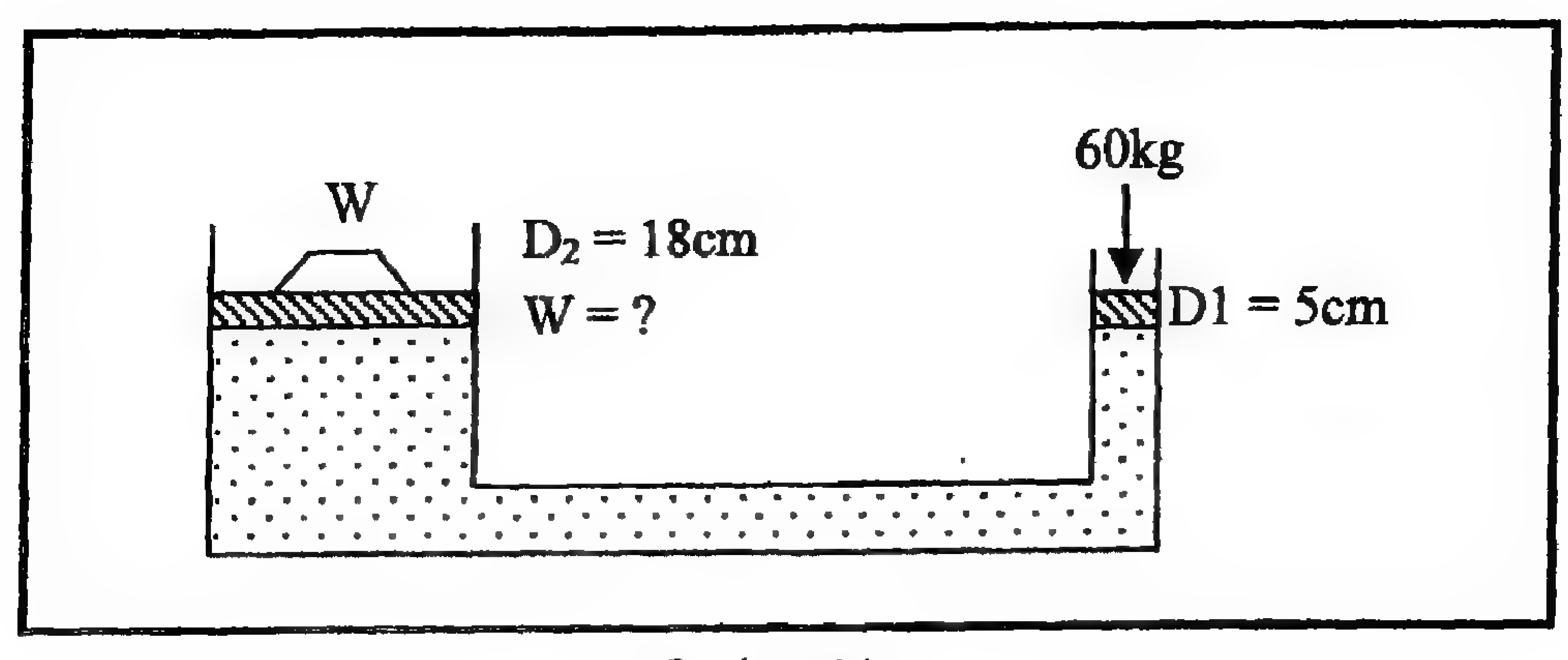
إذن:

$$W = F_1 . \frac{A_2}{A_1} \quad \text{...} \quad (2\text{-}11)$$

من الملاحظ أن مقدار الوزن الممكن رفعه يتناسب طردياً مع نسبة مساحة المكبسين $\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$ وكذلك مع مقدار القوة F_1.

مثال 8:

يراد استخدام رافعة هيدروليكية ذات مكبسين، الأصغر قطره 5Cm والاكبر قطره 18Cm. أوجد مقدار الوزن الذي يمكن رفعه إذا كانت القوة المبذولة على المكبس الأصغر هي 60kg.



شكل مثال 8

الحل:

يبين الشكل (مثال 8) رسماً تخطيطياً للرافعة مبيناً عليها المعطيات حيث يمكن تطبيق المعادلة (2-11).

$$W = F.\ \frac{A_2}{A_1}$$

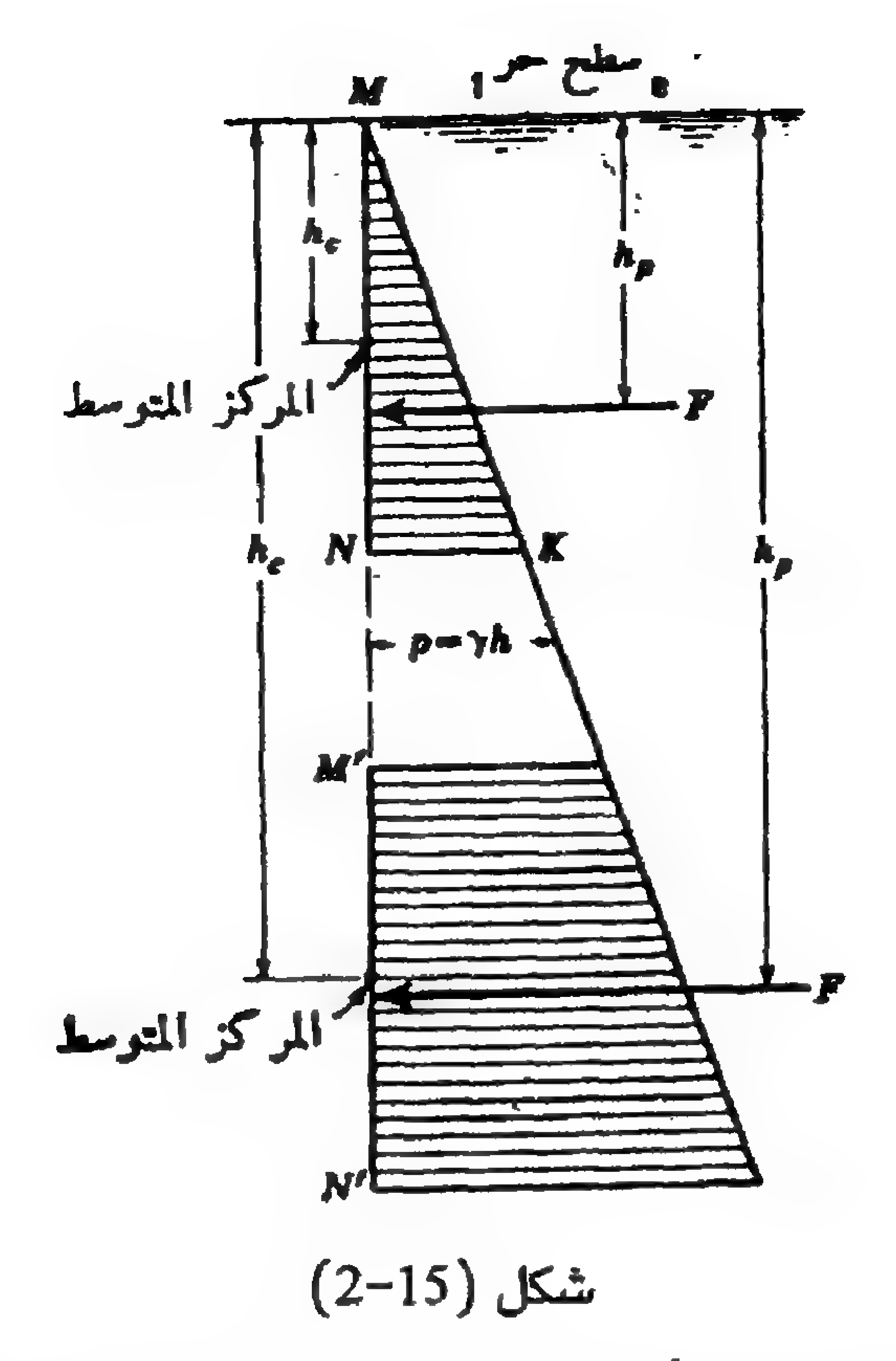
$$= 60 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times (0.18)^2}{\frac{\pi}{4} \times (0.05)^2}$$

$$= W = 777.6\ Kg$$

من الواضح أنه باستخدام قوة صغيرة قطرها 60kg أمكن رفع ثقل يعادل أكثر من (10) أضعاف القوة المبذولة.

2-9 القوة على السطوح المستوية:

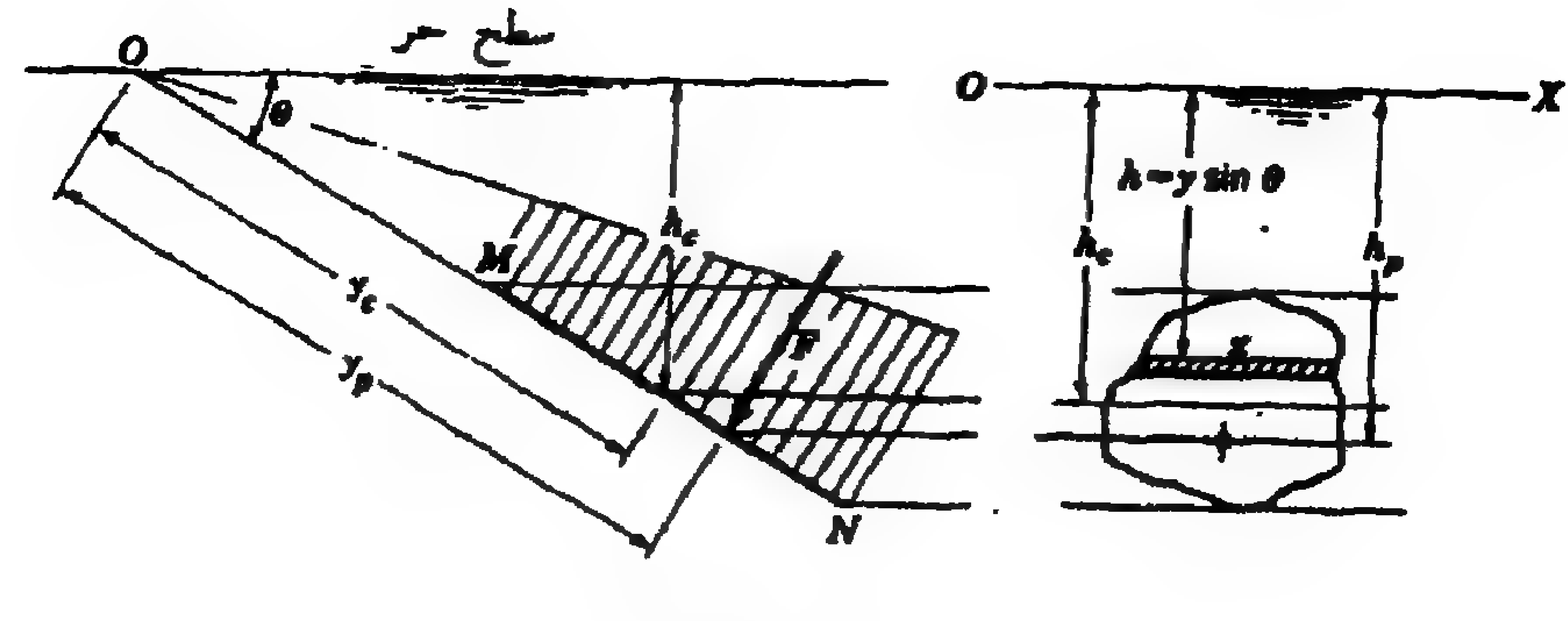
عندما يكون المائع في وضع السكون فلا يكون هنالك قوى مماسية داخل المائع، بل تكون جميع القوى عمودية على الأسطح المغمورة. نعلم أن ضغط السوائل يزداد بازدياد العمق، وبالتالي لا يكون توزيع الضغط منتظما في حالة السوائل. نفرض - كما في الشكل (2-15) وجود سطح مستوٍ MN بوضع عمودي حافته العلوية عند سطح الماء بحيث يكون الضغط هناك صفر ويزداد الضغط كلما ازداد العمق إلى أن يصل إلى ما قيمته (Nk) عند النقطة (N).



شكل (2-15)

لو أردنا إيجاد مركز تأثير مجموعة القوى والتي هي ممثلة في الخطوط المستقيمة الأفقية المتوازية لوجدنا أن نقطة تأثير المحصلة ستكون عند F وليست في المركز المتوسط. لان المركز المتوسط (وسط المسافة بين M , N) هو نقطة تأثير محصلة قوى متساوية ومتوازية ومنتظمة. وإذا انخفض المستوى إلى $\overline{M},\overline{N}$ فإن مقدار التغير في الضغط يكون أقل تأثيراً مما هو عليه قرب السطح (تغير الضغط قرب السطح من صفر إلى Nk)

بينما تغير عند $\overline{M},\overline{N}$ بمعدل أقل (الفرق بين المسافتين الأفقيتين) لذا يصبح الضغط أكثر انتظاماً أو أقل تغيراً كلما ازداد العمق. وبالتالي يصبح مركز الضغط أقرب إلى المركز المتوسط وذلك موضح في الشكل (2-15).



شكل 16-2

وفي الشكل (16-2) إذا كان المغمور MN يميل عن الأفقي بزاوية مقدارها θ، حيث يبين الشكل إلى اليمين مسقط هذا السطح على المستوى الرأسي فإذا كان (h) هو العمق المتغير لأي نقطة فإن المسافة المائلة التي تناظر هذا العمق هي (y) بحيث $h = y \sin \theta$. وبما أن القوة (F) المؤثرة على أي مساحة هي:

$F = \gamma . h . A$ .... (2-12)

فإذا كان (hc) هو عمق المركز المتوسط للمساحة (مركز الثقل) فإن القوة الكلية المؤثرة على أي مساحة مستوية مغمورة في مائع يساوي حاصل ضرب المساحة في الضغط عند المركز المتوسط (مركز الثقل).

$F = \gamma . hc . A$ .... (2-13)

أو

$F = \gamma . A . y_c \sin \theta$ .... (2-14)

مركز الضغط:

كما تبين، يكون مركز الضغط على السطوح المستوية المغمورة أدنى بقليل من مركز الثقل وتعطى حسب العلاقة التالية:

$y_{cp} = y_c + \frac{}{y_c . A}$ .... (2-15)

حيث:

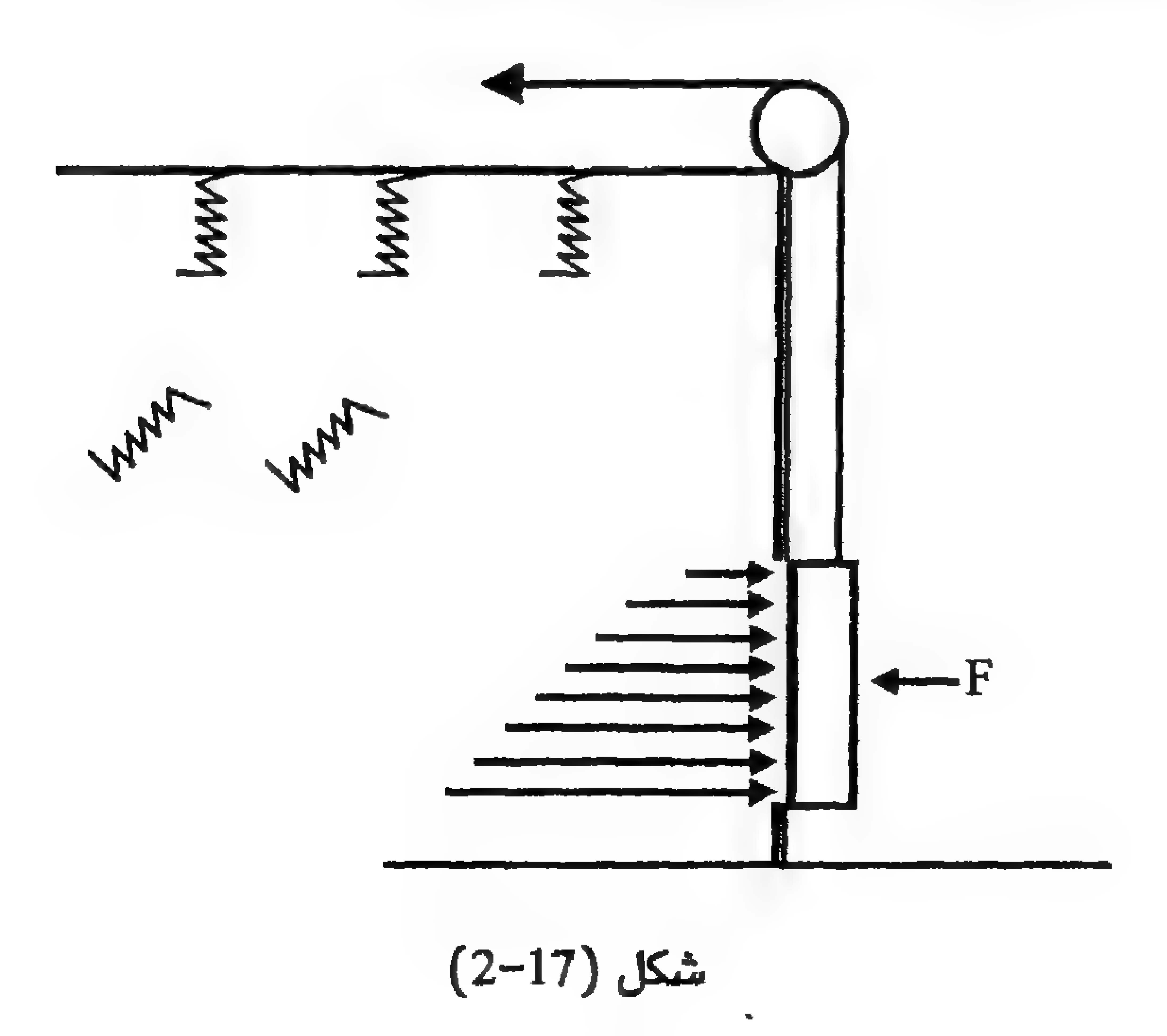
y_{cp}: بُعد مركز الضغط عن السطح.

y_c: بعد مركز الثقل عن السطح.

I_c: عزم القصور الذاتي للمساحة حول المحور المار بمركز الثقل.

يتضح من هذه المعادلة أن موقع مركز الضغط لا يعتمد على زاوية ميلان السطح θ أي أن المساحة يمكن أن تدور حول المحور OX دون أن يتغير موقع مركز الضغط، وتدل المعادلة (2-15) كذلك على أن مركز الضغط يقع دائما أسفل مركز الثقل. لان الكمية $\frac{I_c}{y_c.A}$ هي دائماً كمية موجبة.

تأمل البوابة الهيدروليكية للسد المبين في الشكل (2-17). والتي تتعرض لضغط الماء بشكل يتزايد مع العمق. لذا يجب التأثير على البوابة بقوة مقدارها (F) للحفاظ على البوابة في وضع الإغلاق. يجب أن تكون نقطة تأثير القوة (F) في المكان المناسب لئلا يتسرب الماء من جوانب البوابة. إذ لو كانت القوة (F) تؤثر في نقطة أعلى من مركز الضغط لتسرب الماء من أسفل البوابة ولو كانت نقطة التأثير أسفل مركز الضغط لحدث التسرب من أعلى البوابة. لذا فالمكان المناسب لنقطة تأثير هذه القوة هو مركز الضغط.



شكل (2-17)

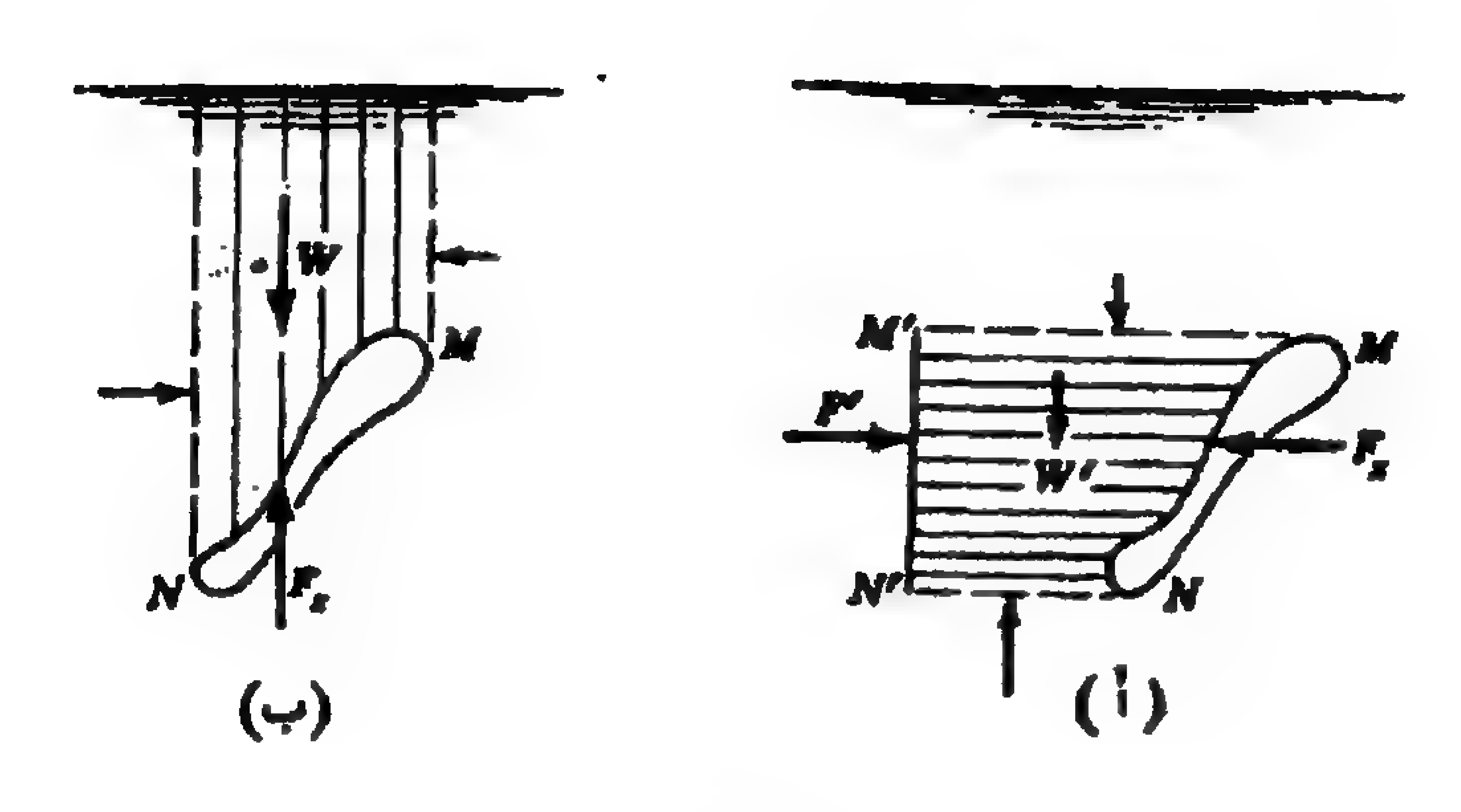
الشكل	المساحة	العزم الثاني للمساحة I_{GG}	مركز الثقل $(C = Y_c)$
	bh	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{h}{2}$
	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{h}{3}$
	πR^2	$\frac{\pi R^4}{4}$	مركز الدائرة
	$\frac{\pi R^2}{2}$	$0.67R^4$	$\frac{4R}{3\pi}$

الجدول 1-2

مساحة الأشكال وعزم القصور الذاتي لها ومركز الثقل

2-10 القوة المؤثرة على السطوح المنحنية:

القوى المؤثرة على السطوح المنحنية والمتعرجة كما في الشكل (2-17) تختلف في المقدار والاتجاه، لذا لا يمكن تطبيق المعادلات (13، 14،15، 2) على السطوح المنحنية.



شكل 18-2

يتم إيجاد القوة المؤثرة على السطوح المنحنية عن طريق إيجاد المركبة الأفقية المؤثرة على السطح والمركبة العمودية كل على حده. يتم إيجاد المركبة الأفقية للقوة من الضغط مضروبا في مساحة الإسقاط الرأسي للسطح المنحنى. كما يظهر ذلك في الشكل (2-18) $\overline{M},\overline{N}$. وبذلك تكون القوة الأفقية في أي اتجاه محدد على أية مساحة مساوية للقوة المؤثرة على مسقط تلك المساحة على المستوى العمودي على الاتجاه المحدد.

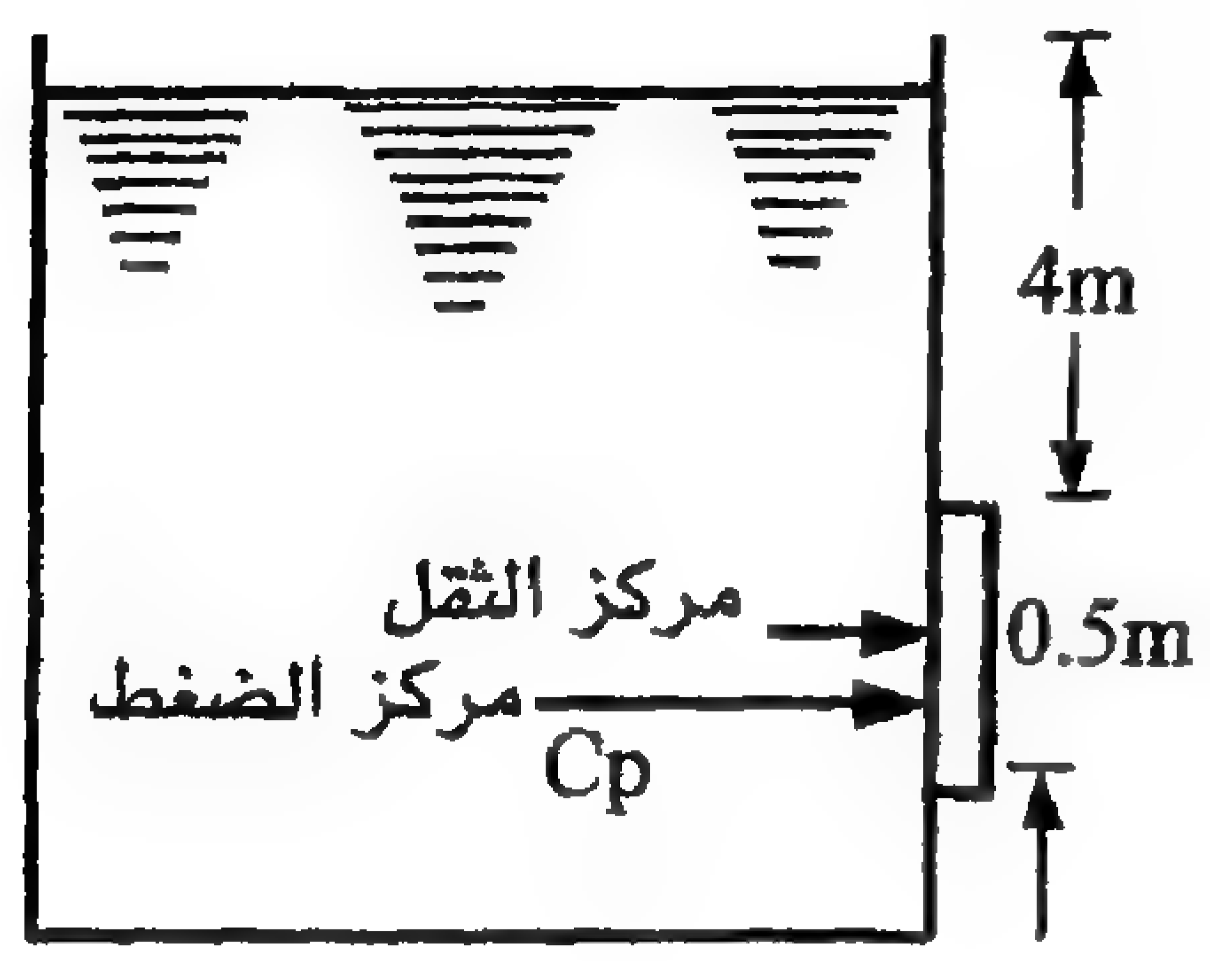
ويتم إيجاد المركبة العمودية للقوة المؤثرة على السطوح المنحنية عن طريق إيجاد حجم السائل المحصور بين تلك المساحة والأجزاء (الارتفاعات) العمودية الممتدة إلى سطح السائل.

وبذلك تكون القوة العمودية المؤثرة على أي مساحة مساوية لوزن المائع الممتد أعلى تلك المساحة وصولا إلى السطح الحر للمائع وخط تأثير هذه القوى يجب أن يكون نفس خط تأثير الوزن W.

ويجب أن يمر خلال مركز الثقل الجسم. والامثلة أدناه توضح كيفية إيجاد قيم القوى الأفقية والعمودية ومركز الضغط.

مثال 9:

بوابة مربعة الشكل مغمورة في الماء وعمق حافتها العلوية عن سطح الماء 4m. أوجد القوة الهيدروستاتيكية المؤثرة على البوابة. إذا كان طول ضلع البوابة 0.5m وأوجد كذلك نقطة تأثيرها.



الحل:

بما أن البوابة في الوضع الرأسي فإن:

$$F = \gamma . h_c . A$$

$$h_c = \frac{0.5}{2} + 4 = 4.25\text{m}$$

$$A = 0.5 \times 0.5 = 0.25\ \text{m}^2$$

$$F = 1000 \times 9.81 \times 4.25 \times 0.25$$

$$= 10.423\text{KN}$$

وهذه القوة ناتجة عن وزن الماء فقط.

لإيجاد مركز الضغط نطبق المعادلة (2-15)

$$y_{cp} = y_c + \frac{I_o}{y_c . A}$$

$I_o = \frac{bh^3}{12}$ للقطع المربع

$$= \frac{0.5 \times (0.5)^3}{12} = \frac{0.0625}{12}$$

$$y_{cp} = y_c + \frac{0.0625}{1.0625 \times 0.25}$$

$$= 4.25 + \frac{0.0625}{1.0625 \times 12}$$

$$= 4.2505m$$

يتضح من الجواب أن مركز الضغط قريب جداً من مركز الثقل. ولكن لا يزال أسفل مركز الثقل.

ملاحظة: في حالة وجود ضغط إضافي فوق سطح المائع مثل ضغط غاز أو وزن جسم فوق سطح الماء فإن مقدار هذا الضغط يضاف إلى القوة الكلية المؤثرة على البوابة كما في المثال التالي:

مثال: 10:

خزان مغلق مستطيل الشكل ارتفاعه 10m مملوء بالماء حتى ارتفاع 9m. يوجد له بوابة مستطيلة (0.6 × 0.8m) في أسفل الخزان. فإذا كان ضغط الهواء فوق سطح الماء هو 40KPa. أوجد محصلة القوى المؤثرة على البوابة ونقطة تأثيرها (مركز الضغط) علماً بأن الضلع الأطول للبوابة في الوضع الرأسي.

الحل:

من الضرورة بمكان فهم المسألة فهماً صحيحاً ورسم الشكل بالطريقة الصحيحة ووضع القياسات والمعطيات تمهيداً للبدء في حل المسألة. إذ أن أي فهم خاطئ لنص المسألة سيؤدي إلى حل خاطئ.

يبعد مركز ثقل البوابة عن سطح الماء.

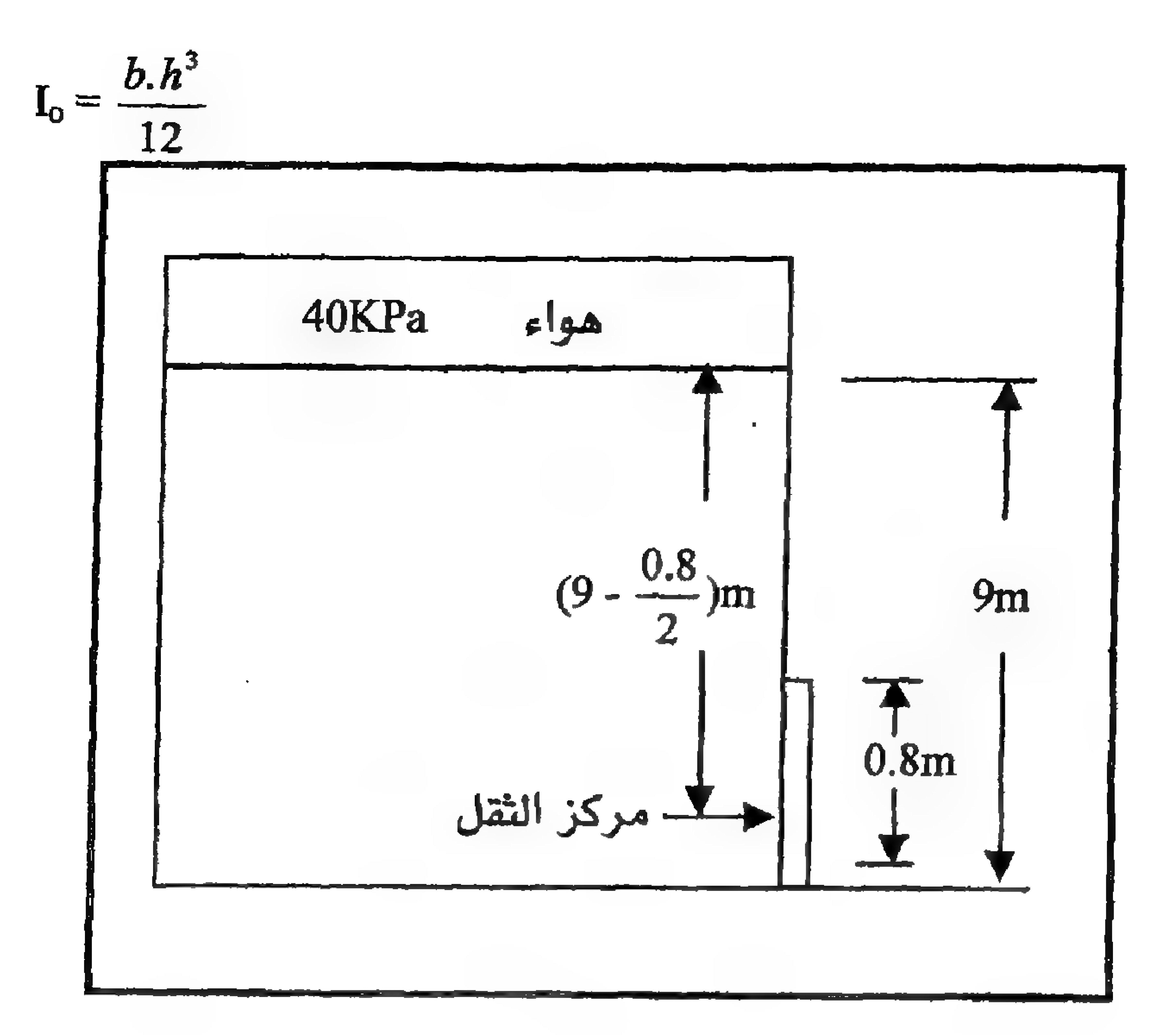
مسافة $y_c = 9 - \frac{0.8}{2}$

$= 8.6m$

مساحة سطح البوابة

$A = 0.8 \times 0.6 = 0.48m$

$$I_o = \frac{b.h^3}{12}$$



من المهم في حالة البوابات المستطيلة التمييز بين h, b ففي هذه الحالة h=0.8 لأن نص المسألة يفيد بأن الضلع الأطول في وضع رأسي.

$$I_o = \frac{0.2 \times (0.8)^3}{12} = 0.026 \text{ m}^4$$

القوة الكلية المؤثرة على البوابة هي قوة ضغط الهواء مضافاً إليها قوة وزن الماء.

$$F_T = F_W + F_A$$

حيث F_A: القوة الناتجة عن ضغط الهواء وتساوي ضغط الهواء مضروباً في مساحة البوابة.

$$F_A = 40 \text{ KPa} \times (0.6 \times 0.8)$$

$$= 19.2 \text{ KN}$$

و F_w القوة الناتجة عن وزن الماء.

$$F_w = \gamma .\ h_c.\ A$$

$$= 1000 \times 9.81 \times 8.6 \times (0.6 \times 0.8)$$

$$= 40.5\ KPa$$

$$F_T = F_A + F_w = 40.5 + 19.2$$

$$F_T = 59.7\ KN$$

لإيجاد نقطة تأثير هذه القوة y_{cp} تستخدم المعادلة:

$$y_{cp} = y_c + \frac{I_o}{y_c.A}$$

$$= 8.6 \times \frac{0.026}{8.6 \times 0.48}$$

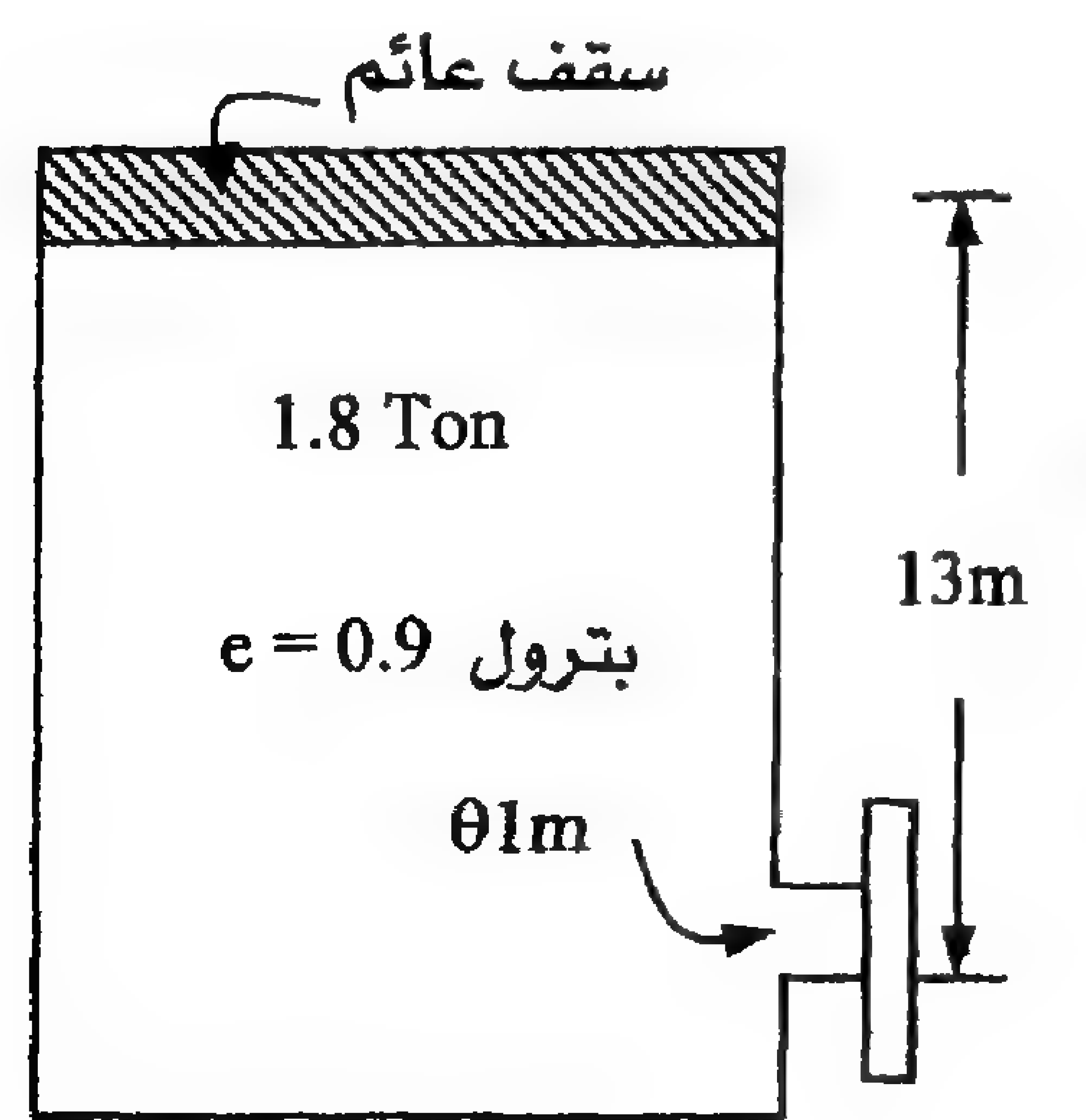
$$= 8.60625\ m$$

مثال 11:

خزان بترول (e = 0.9) ذو سقف عائم وزن سقفه 1.8طن. له بوابة معدنية دائرية الشكل قطرها 1m أوجد القوة الكلية المؤثرة على البوابة إذا كان ارتفاع البترول فوق مركز الثقل البوابة هو 13.4m وأوجد كذلك نقطة تأثير القوة الهيدروستاتيكية.

الحل:

يبين الشكل رسماً تخطيطياً للخزانٍ حيث يبقى السقف العائم ملامسا لسطح البترول طوال الوقت.



تتألف القوة الكلية المؤثرة على البوابة من وزن السقف العائم ووزن البترول.

القوة الناتجة عن وزن السقف العائم F_r

القوة الناتجة عن وزن البترول F_p

$$F_r = 1.8 \times 10^3 \times 9.81 = 17658N$$

$$= 17.658 \times 10^3 N$$

$$F_P = 0.9 \times 9.81 \times 10^3 \times 13.4 \times \frac{\pi}{4} \times (1)^2$$

$$= 92.97\ KN$$

$$F_T = 92.97 + 17.658$$

$$= 119.63\ kN$$

$$I_O = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi.(0.5)^4}{4}$$

$$= 0.05m^4$$

نقطة تأثير القوى y_{cp} يمكن إيجادها من:

$$y_{cp} = y_c + \frac{I_o}{y_c.A}$$

$y_c = h_c$ لأن البوابة في الوضع العمودي

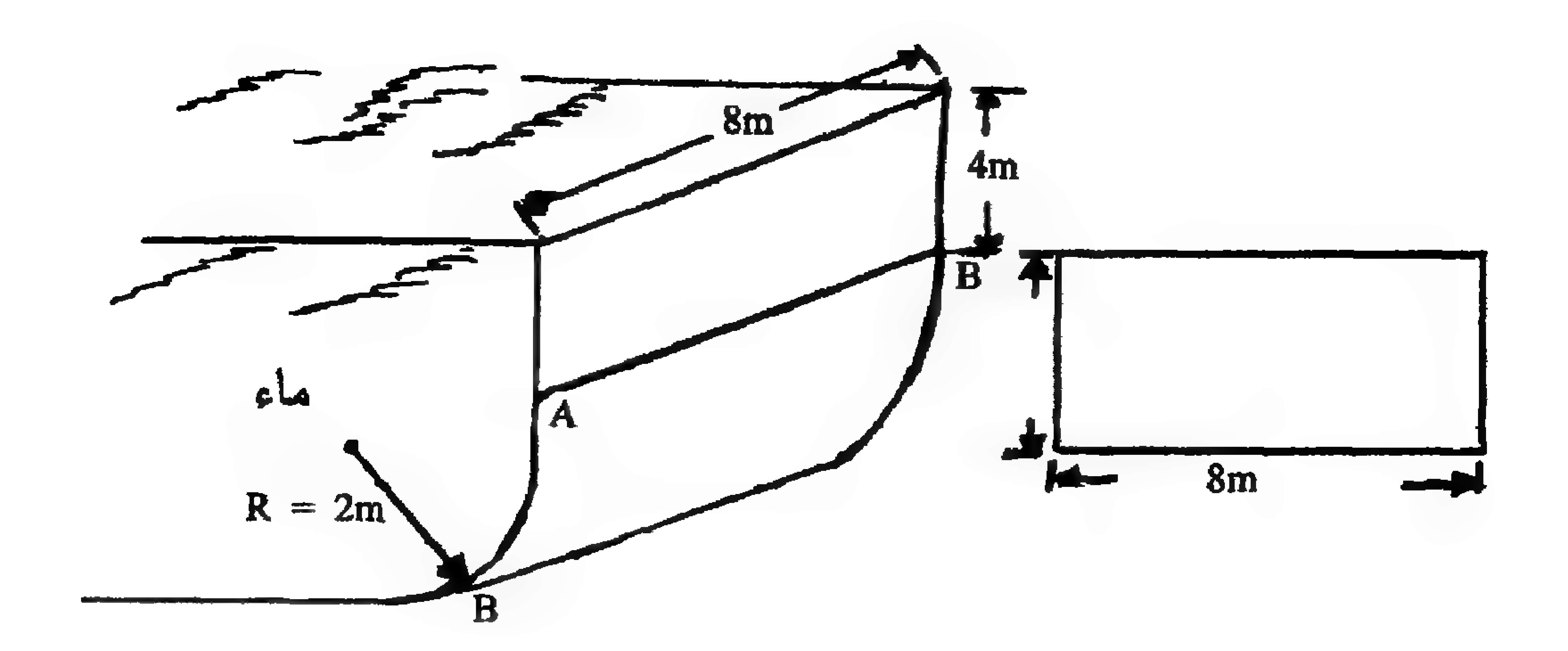
$$y_{cp} = 13.4 + \frac{0.05}{13.4 \times 0.197} \quad = 13.6\ m$$

مثال 12:

أوجد القوة الهيدروستاتيكية الأفقية والعمودية المؤثرة على السطح المنحني (ABCD) المبين في الشكل.

الحل: 1-المركبة الأفقية:

لكي يتم إيجاد المركبة الأفقية يجب أولاً إيجاد مسافة الإسقاط للسطح المنحنى. وهي عبارة عن مستطيل ارتفاعه يساوي نصف قطر السطح المنحنى وعرضه نفس عرض السطح المنحنى كما في الشكل ومساحة هذا المستطيل.



$A = 2 \times 8 = 16m^2$

$h_x = 4 + \frac{1}{1} = 5$

$F_H = e.g.h.\ A$

$= 1000 \times 9.81 \times 5 \times 16$

$= 784.8 \times 10^3 N$

2- المركبة العمودية:

يبين الشكل المسقط الجانبي للسطح المنحنى والمركبة العمودية للقوة هي عبارة عن وزن المائع فوق السطح المنحنى وهو كما في الشكل مكون من جزئين ويجب حساب وزن كل جزء على حده ومن ثم جمعها

4m
V_1
V_2
R2m

$F_v = \gamma.\ v_1 + \gamma_v 2$

$= 1000 \times 9.81 \times 2 \times 4 \times 8 + 1000 \times 9.81 \times \frac{\pi R^2}{4} \times 8$

$= (627.84 + 246.43)\ 10^3$

$= 874.43\ KN$

11-2مسائل عامة للمناقشة والحل:

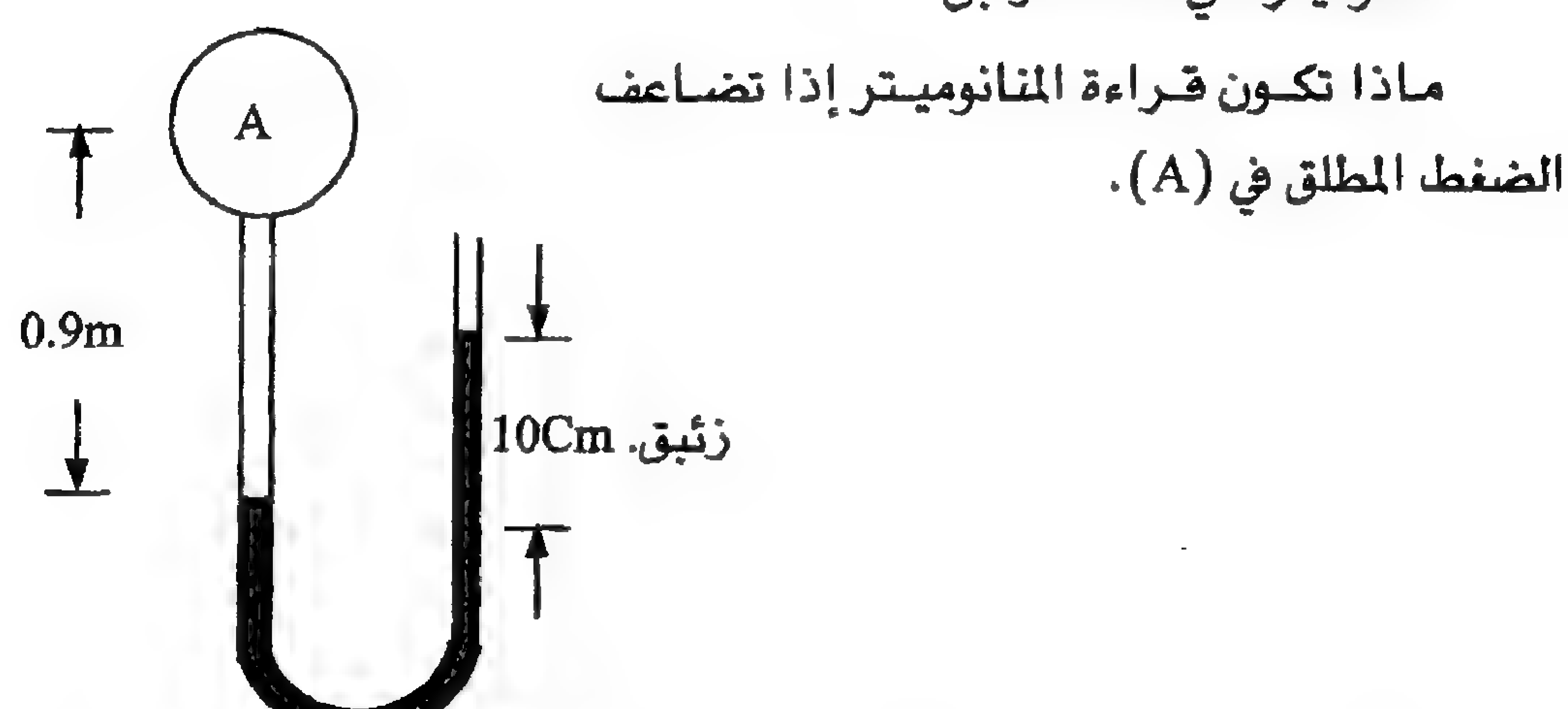
(2-1) بإهمال الضغط على السطح وانضغاطية الماء. أوجد ضغط الماء بوحدة N/m^2 في قاع البحر عند عمق 3000m إذا كانت كثافة مياه البحر 1.07.

(2-2) مقياس ضغط عند ارتفاع 8m يقرأ $57.4KN/m^2$ ومقياس آخر عند ارتفاع 4.8m يقرأ $80KN/m^2$أوجد الوزن النوعي للسائل.

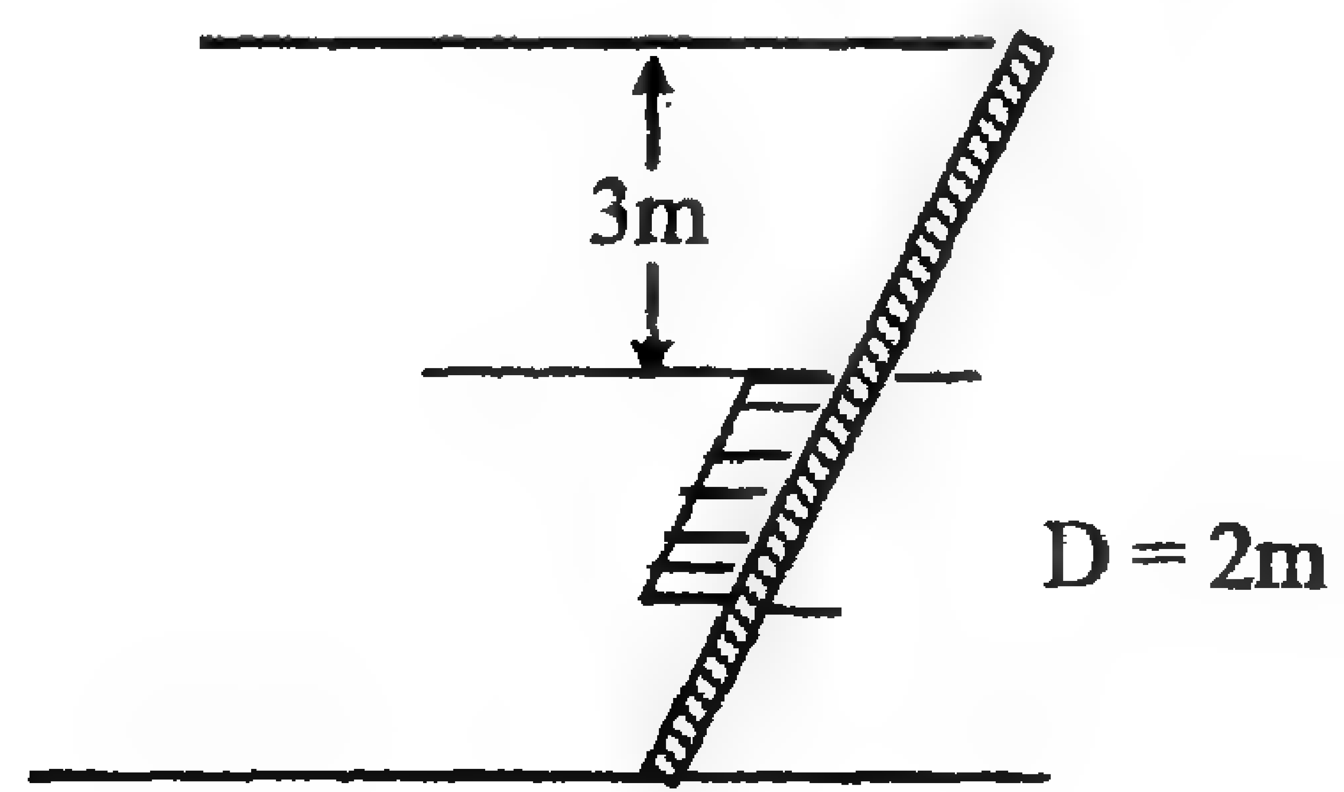
(2-3) خزان مكشوف يحتوي على ماء بارتفاع 5m مغطى بطبقة 2m زيت (γ=8 KN/m^3). أوجد الضغط عند تلامس سطح السائلين وفي قاع الخزان.

(2-4) في الشكل المبين إذا كانت الضغط الجوي هو 101.3 KPa وكانت قراءة المانوميتر هي 10Cm زئبق.

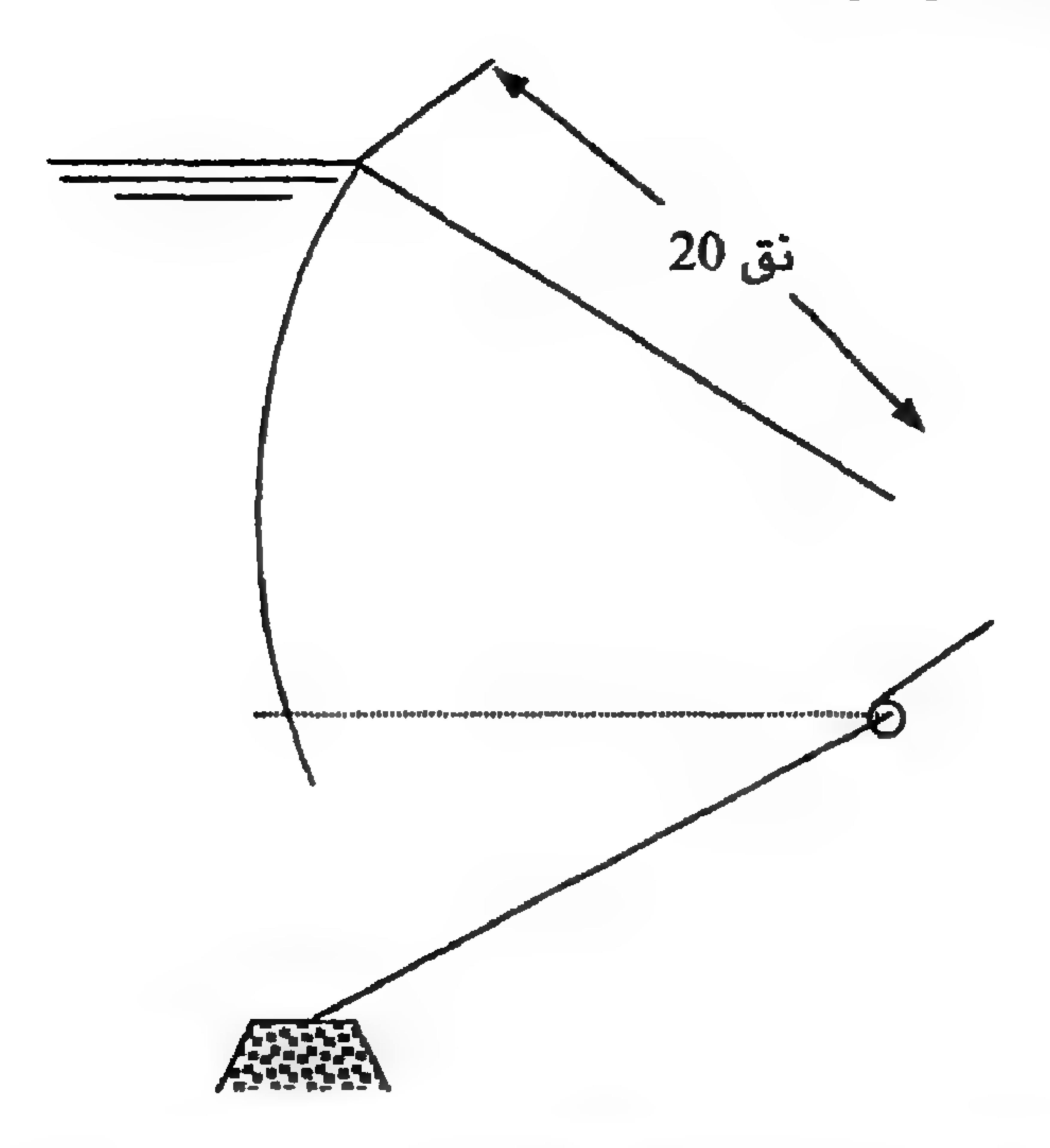
ماذا تكون قراءة المانوميتر إذا تضاعف الضغط المطلق في (A).



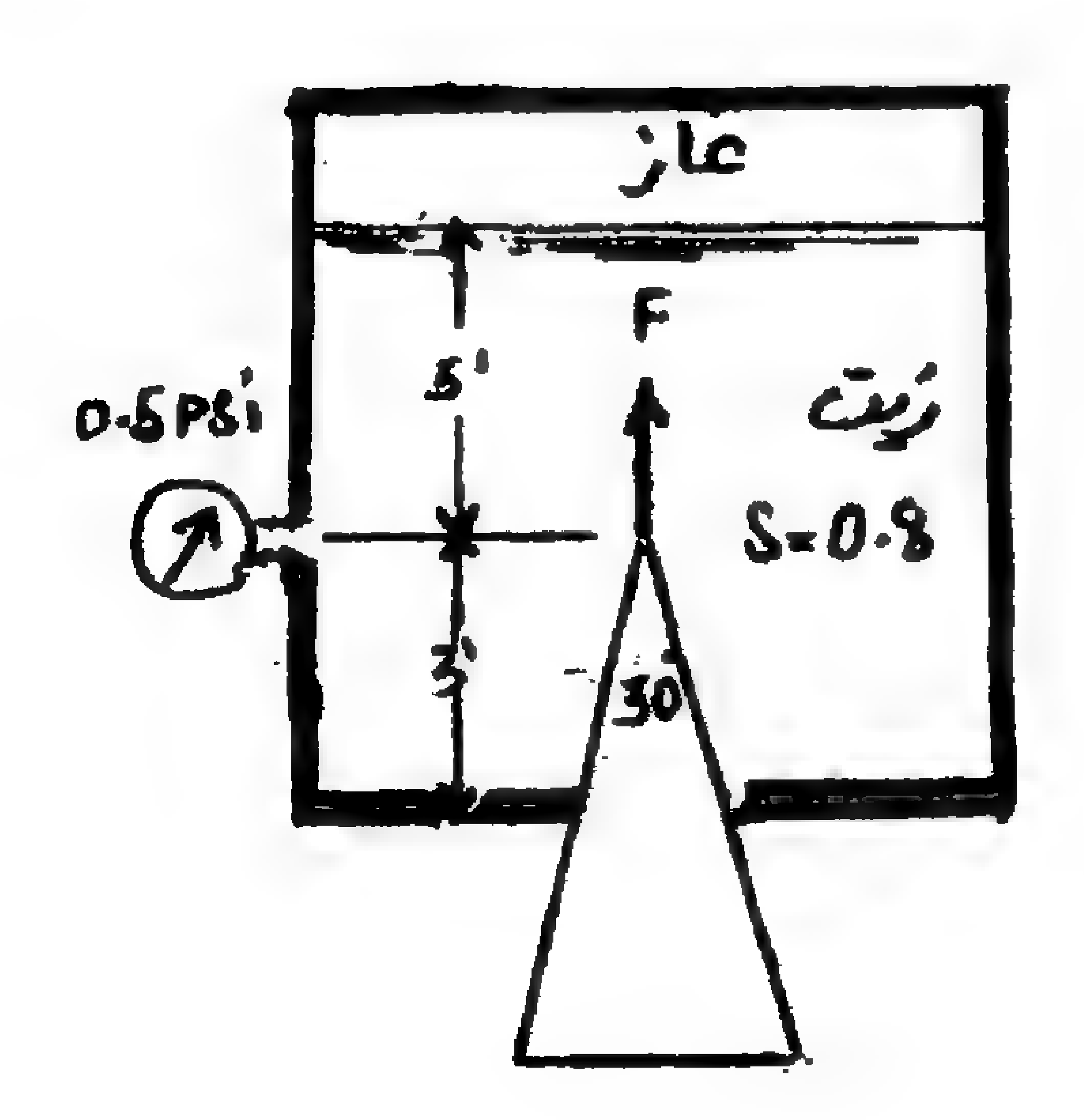
(2-5) أوجد مقدار ونقطة تأثير القوة على البوابة المستديرة (D = 2m). الموضحة في الشكل.



6-2 في الشكل المبين أوجد المركبة الأفقية والمركبة العمودية المؤثرة على البوابة المنحنية لكل 1 متر عرض.



7-2 أوجد مقدار القوة F اللازمة للمحافظة على المخروط في مكانه.



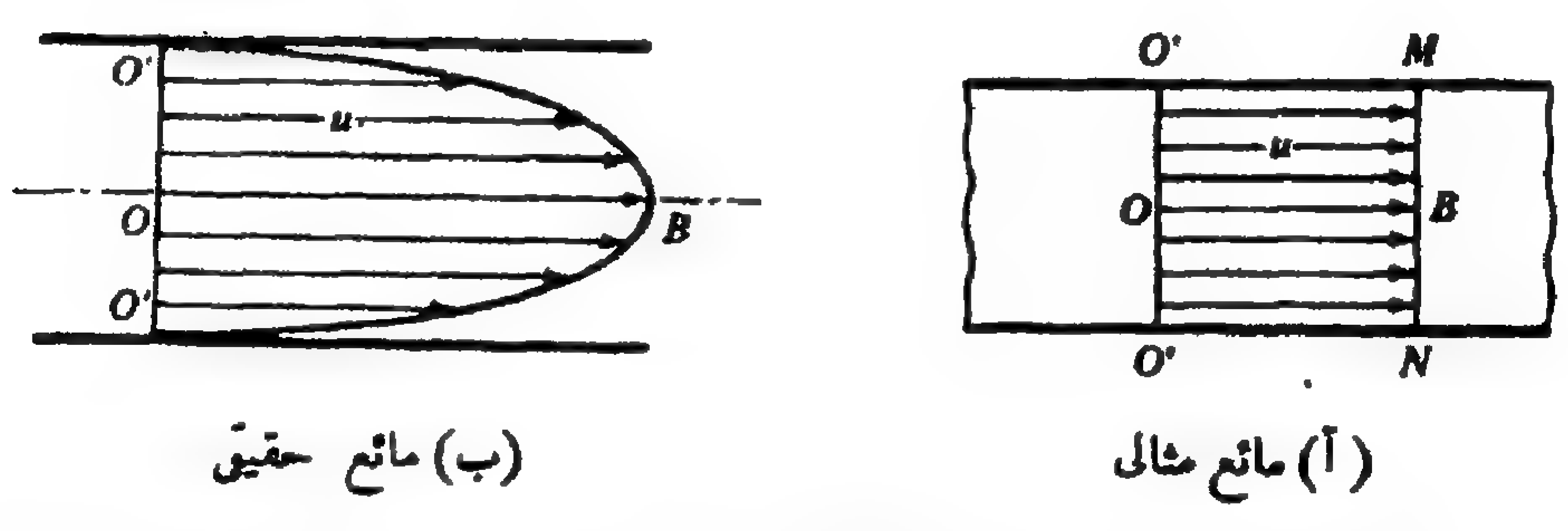
الوحدة الثالثة

كينمانيكا انسياب الموائع

الوحدة الثالثة

كينمانيكا انسياب الموائع

عند الحديث عن انسياب الموائع غالباً ما يتبادر إلى الذهن المائع المثالي. ومثل هذا المائع يفترض أنه لا لزوجة له، ومثل هذا المائع غير موجود في الطبيعة، ولكن يوجد هنالك مسائل في الهندسة يفترض فيها أن المائع مثالي لأن ذلك يعتبر عاملا مساعداً فقط. أما عند دراسة المائع الحقيقي فيجب مراعاة تأثيرات خواص المائع وخاصة اللزوجة لأنها تؤدي إلى وجود اجهادات قصى بين جزيئات المائع المختلفة خاصة عندما تتحرك هذه الجزيئات بسرعات متفاوتة. في حالة المائع المثالي الذي ينساب في مجرى مستقيم تتحرك الجزيئات جميعها بخطوط مستقيمة وبسرعة متساوية في جميع أجزاء المائع (شكل 3-1 أ)



شكل 3-1 توزيعات سرعة وافية (أ) مائع مثالي (ب) مائع حقيقي

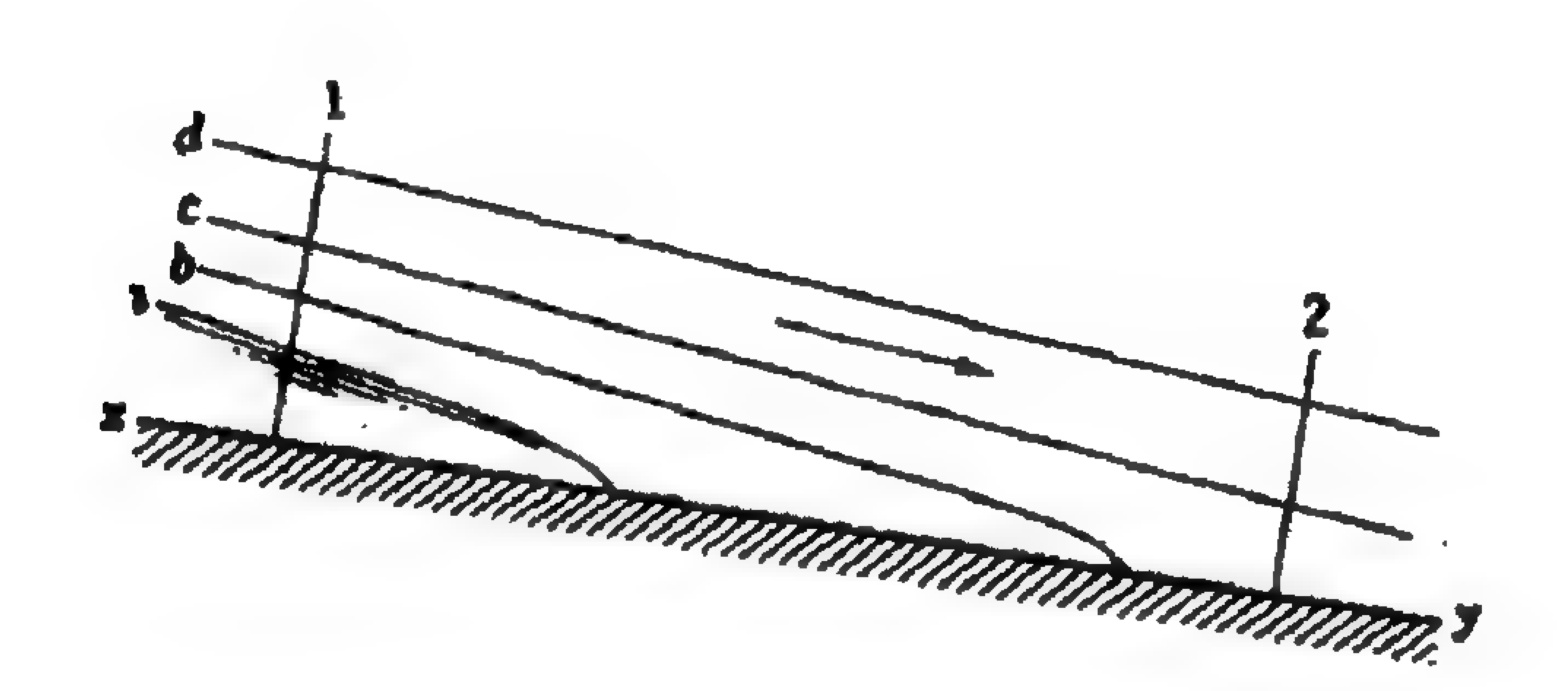
أما في حالة المائع الحقيقي فإن الجزيئات الملامسة لجدار الأنبوب تكون ساكنة أي أن سرعتها تساوي صفر، وتزداد سرعة جزيئات المائع كلما اقتربنا خط محور الأنبوب إلى أن يصل المائع إلى سرعته القصوى في منطقة المحور، ومن ثم تتناقص السرعة تدريجياً من جديد إلى أن تصل إلى الصفر عند

الجدار كما في الشكل (3-1 ب).

تعتبر السوائل بشكل عام قابلة للانضغاط وبالتالي يمكن القول أن هناك انسياباً (جرياناً) غير قابل للانضغاط وهناك جريان قابل للانضغاط (انسياب الغازات). هنالك أيضاً تصنيفات عديدة للانسياب، حيث يمكن أن يكون الانسياب مستقراً أو غير مستقر بالنسبة للزمن. أو أن يكون طبقياً أو مضطرباً وفيما يلي وصف موجز لكل من هذه الأنواع:

3-1 الانسياب المستقر والانسياب المنتظم:

الانسياب المستقر هو الانسياب الذي تبقى فه جميع ظروف المائع مثل (الكثافة، الضغط) في المجرى ثابتة بالنسبة للزمن عند أي نقطة في المجرى. ولكن هذه الظروف قد تختلف عن نقطة أخرى. وهذا يتوفر فقط في الانسياب الصفائحي.



شكل 2-3

الانسياب غير المستقر في القناة

الانسياب المنتظم هو الانسياب الذي تكون فيه السرعة في لحظة ما ثابتة في الاتجاه والمقدار في جميع نقاط المائع.

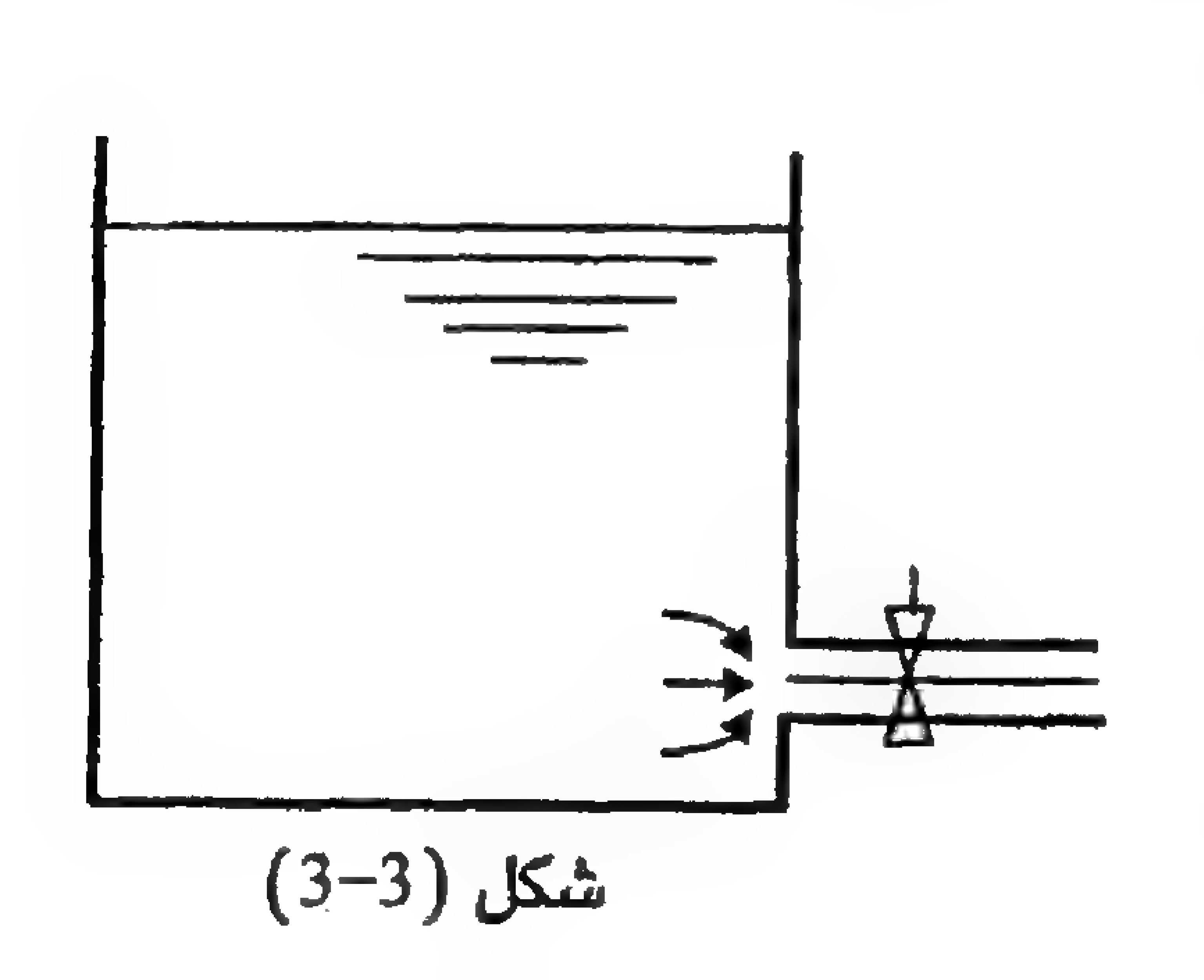
الانسياب المستقر (وغير المستقر) والمنتظم (وغير المنتظم) يمكن أن يتواجد منفرداً ويمكن الجمع بين أي اثنين من هذه الأشكال. لذلك فإن انسياب

السائل بمعدل ثابت في أنبوب طويل ومستقيم وذو قطر ثابت يعتبر انسياب مستقراً ومنتظماً. وانسياب السائل بمعدل ثابت خلال أنبوب مخروطي يعتبر مستقراً ولكنه غير منتظم (بسبب تغير السرعة). وعند تغير معدل الانسياب تصبح تلك الحالات غير مستقرة ومنتظمة وغير مستقرة وغير منتظمة على الترتيب.

يمكن للانسياب غير المستقر أن يكون ظاهرة انتقالية بحيث يصبح بعد فترة زمنية إما انسيابا مستقراً أو انسياب صفر. كما في الشكل (3-2) حيث تمثل (α) بداية انسياب مائع في مجرى فارغ عند فتح البوابة، ومن ثم يصبح سطح المائع عند (b) ثم (c) وفي النهاية يصل إلى الاتزان عند (d)، وبذلك يصبح الانسياب غير المستمر انسيابا مستمراً. مثال آخر هو عند إغلاق صمام في خط أنابيب، حيث يؤدي ذلك إلى انخفاض السرعة حتى تصل إلى الصفر ويحدث في نفس الوقت تغير في السرعة والضغط خلال الأنبوب.

3-2 الانسياب الصفائحي والانسياب المضطرب:

لقد درس العالم الفرنسي ريتولد نوعان مميزان من الانسياب في عام 1883. حيث حقن سائلا ملونا له نفس كثافة الماء على مدخل أنبوب زجاجي يمر خلاله ماء من خزان. وقد تمكن

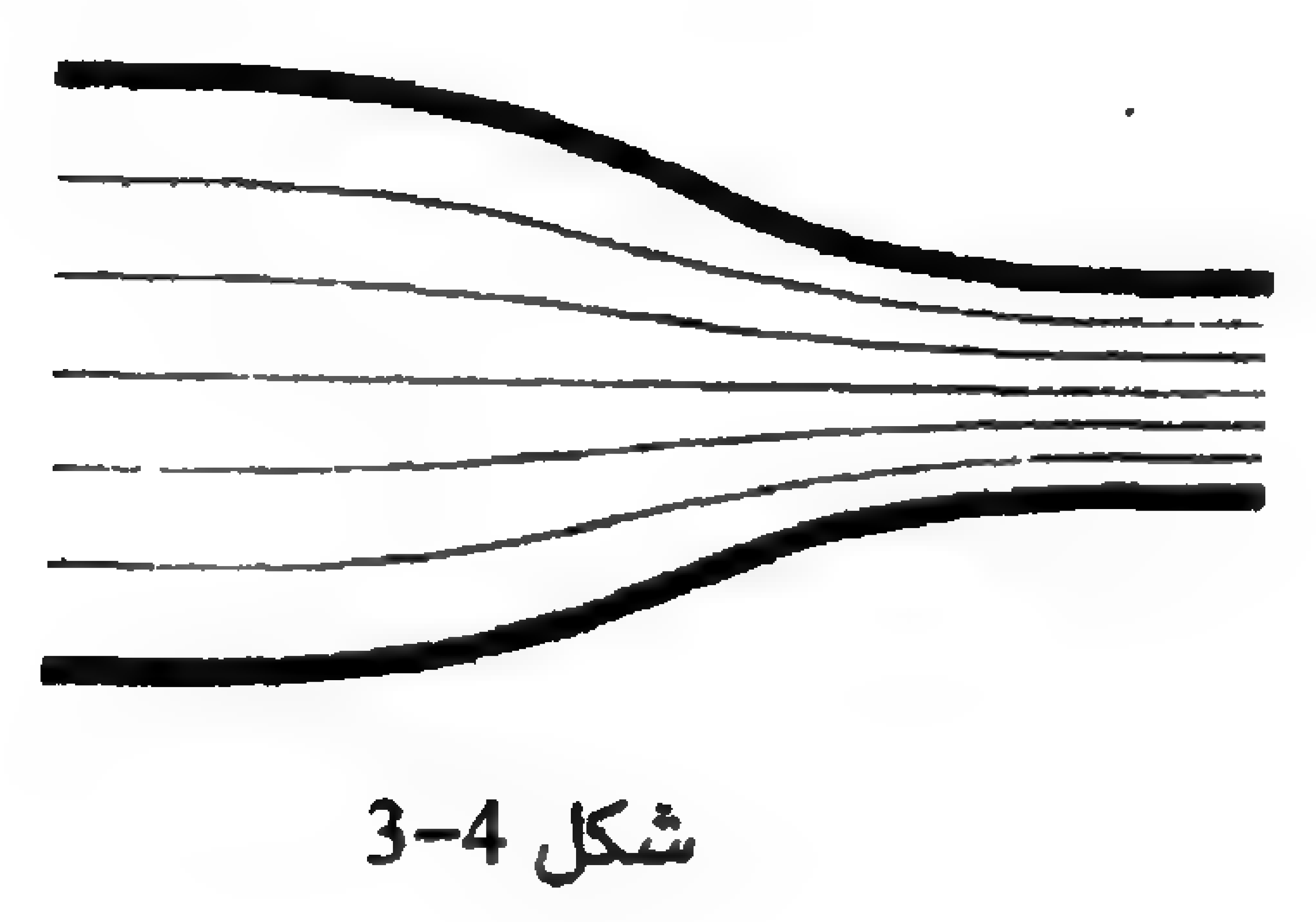


شكل (3-3)

بواسطة الصمام الموجود على طرف الأنبوبة من تغير معدل الانسياب. إذ لاحظ أنه عندما كانت سرعة الماء منخفضة أن السائل الملون كان يسير بخط مستقيم أو خطوط مستقيمة ومتوازية. ومع الزيادة التدريجية لسرعة الماء عن طريق فتح

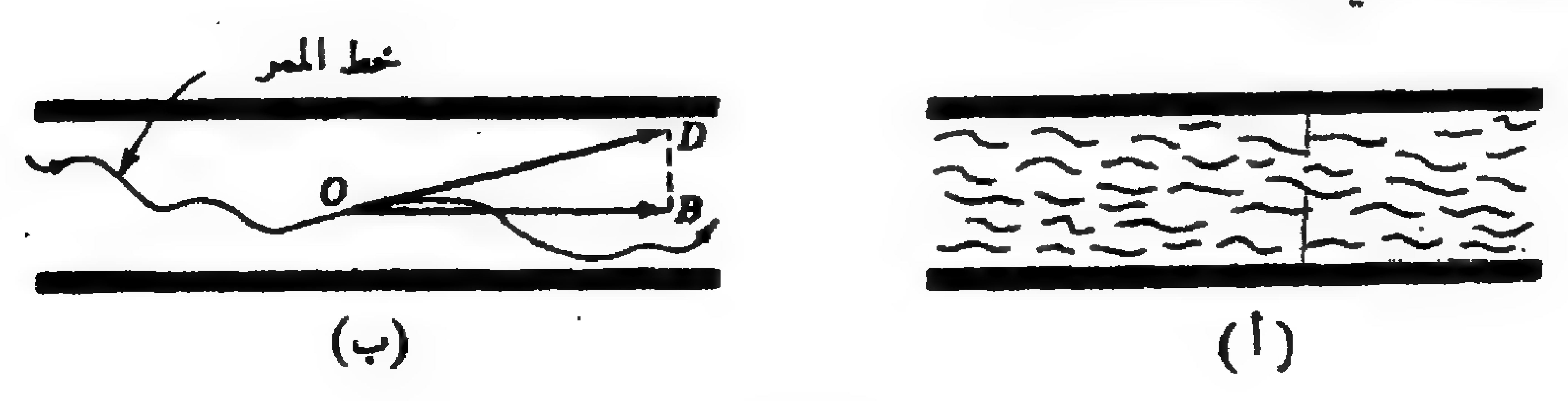
الصمام لاحظ أن هناك نقطة تغير عندها الانسياب بحيث كان الخط متعرجاً أولاً ومن ثم ينكسر إلى دوامات عديدة لوحظ بعدها أن اللون انتشر بانتظام ولم يعد يمكن تمييز خطوط الانسياب كما في السابق. وقد اتضح أن السرعة في النوع الأخير من الانسياب كانت تحت تأثير تقلبات غير منتظمة.

يعرف النوع الأول بالانسياب الصفائحي، الرقائقي أو اللزج ومعنى ذلك يبدو أن المائع يتحرك بانزلاق رقائق ذات سمك قليل جداً فوق بعضها البعض. أي أن جزيئات المائع تسير في مسارات أو خطوط سريان محددة وملحوظة (شكل 3-4)



شكل 4-3

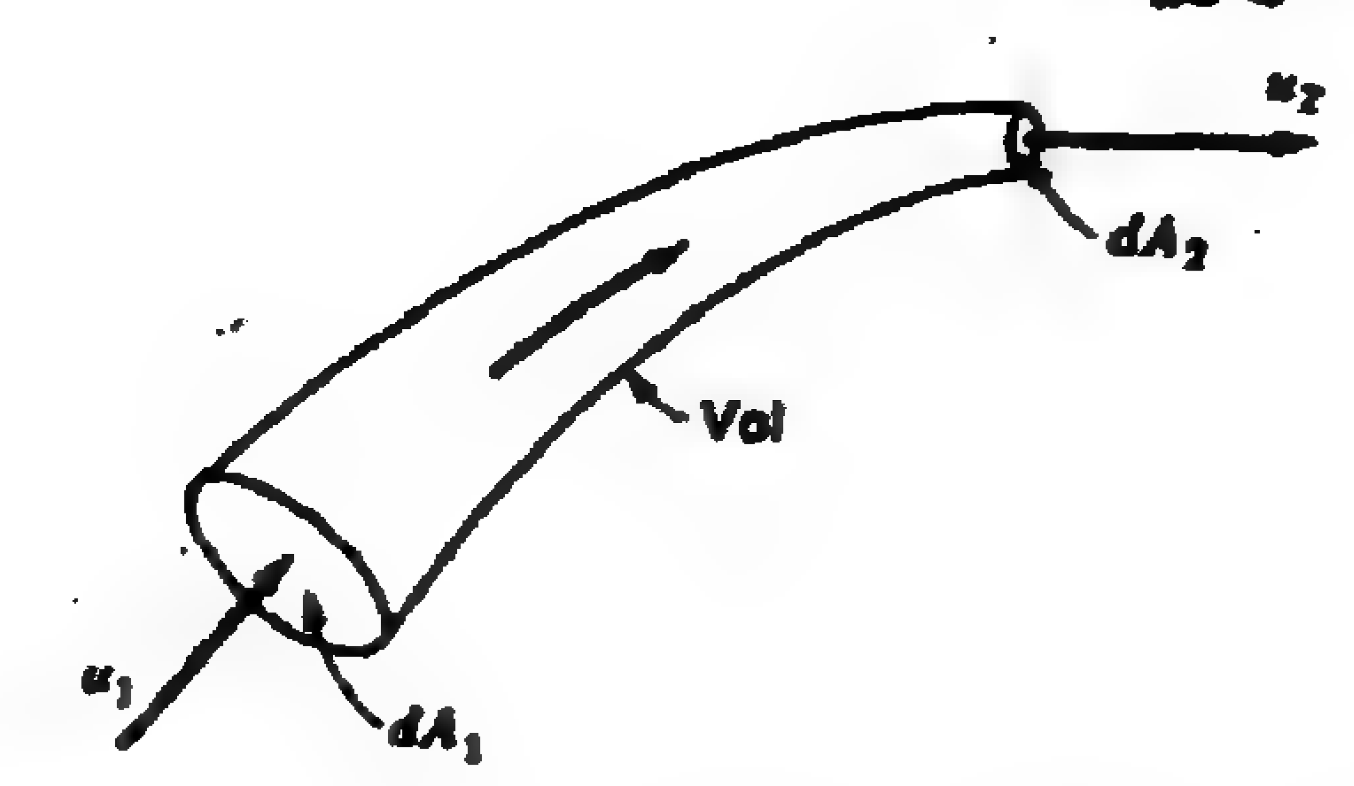
النوع الثاني والمعروف باسم الانسياب المضطرب والموضح بالشكل (5-3) حيث توضح (أ) حركة غير منتظمة لعدد كبير من الجسيمات خلال فترة زمنية قصيرة بينما توضح (ب) ممراً لجسيم واحد خلال فترة زمنية أطول. إذ أنه من خصائص السريان المضطرب عدم الانتظام فلا يوجد تردد محدد ولا نموذج موحد كما في حالة الدوامات.



شكل 5-3 السريان المضطرب

عند لحظة معينة يمكن للجسيم "O" أن يتحرك بسرعة "OD" تتغير في لحظة بسيطة إلى OB بالمقدار والاتجاه وهذا يفسر وجود النبضات في المانوميترات أو مقاييس الضغط المتصلة بالأنابيب.

3-3 معادلة الاستمرارية:



الشكل 6-3 طول أنبوبة السريان كحجم توجيه

يوضح الشكل (3-6) جزءاً لأنبوب يسري فيه مائع. وبما أن الأنبوب محصور من جميع الجوانب فإنه لا يوجد مدخل أو مخرج للمائع إلا من طرفي الأنبوب. وبما أن الكتلة يجب أن تظل باقية فإن كتلة المائع (أو حجم المائع) التي تدخل من أحد طرفي الأنبوبة يجب أن تكون نفس الكمية التي تخرج من الطرف الآخر خلال فترة محددة من الزمن. وهذا هو نص نظرية الاستمرارية والتي يمكن تطبيقها على الانسياب المستقر القابل للانضغاط أو الغير قابل للانضغاط داخل حدود ثابتة. فإذا كان المائع قابلا للانضغاط، بمعنى (تغير الكثافة) يكون:

$$\gamma_1 . A_1 . V_1 = \gamma_2 A_2 . V_2 \quad \text{.......... (3-1)}$$

حيث:

A_2, A_1: مساحة المقطع العرضي للأنبوب.

V_2, V_1: سرعة المائع المتدفق في الأنبوب عند المدخل والمخرج أو عند أي مقطعين مختارين.

إما إذا تم اعتبار المائع غير قابل للانضغاط (الكثافة ثابتة) فتصبح المعادلة:

$$Q = A_1V_1 = A_2 V_2 \quad \text{.......} \quad (3\text{-}2)$$

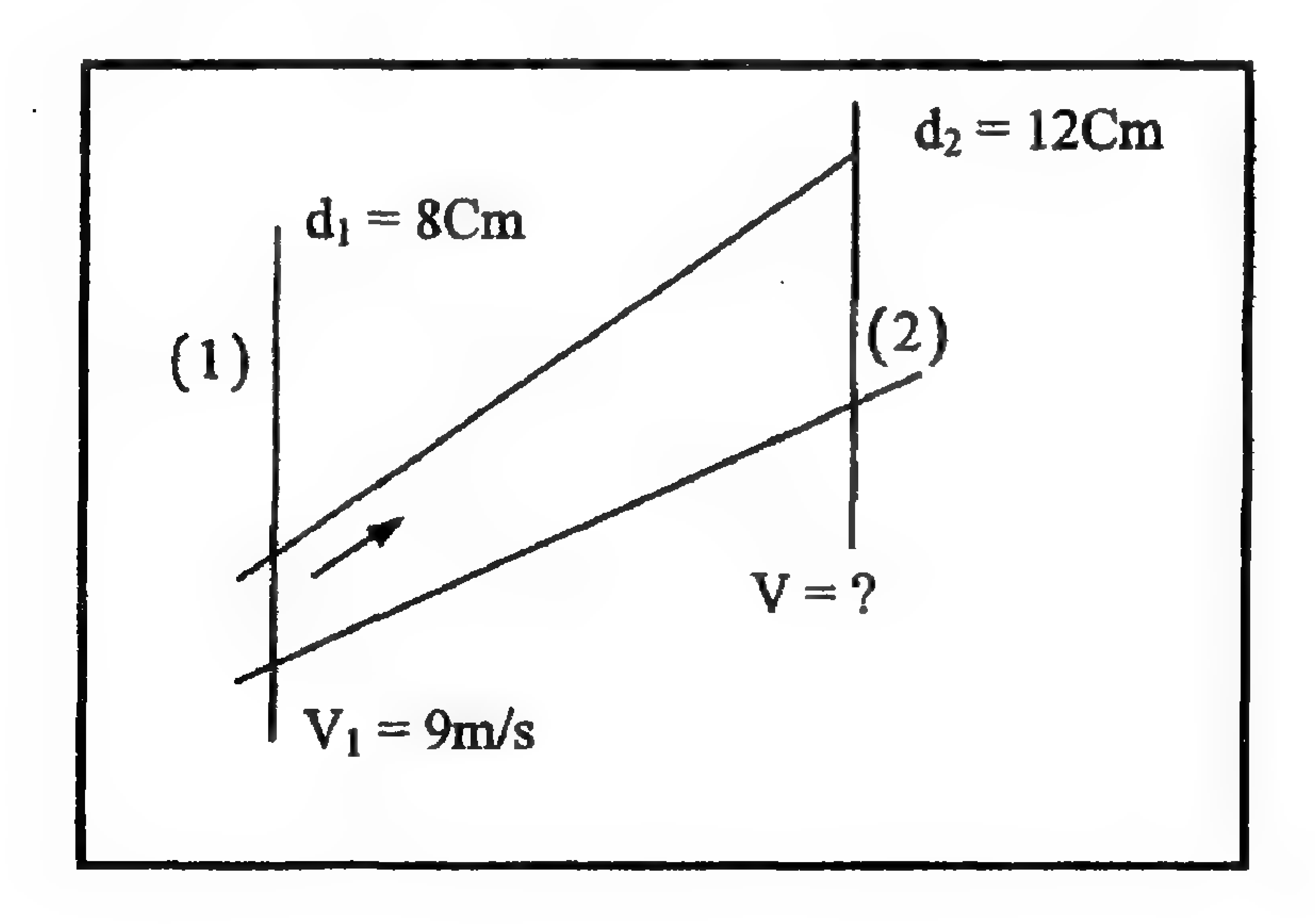
وهي معادلة التدفق الحجمي حيث:

Q: معدل التدفق الحجمي للمائع (m^3/s).

وغالباً ما تستخدم هذه المعادلة (3-1) و (3-2) لتحليل الانسياب عبر مجاري ذات حدود ثابتة وصلبة.

مثال: 3-1:

يتدفق ماء عبر ماسورة مخروطية يتغير قطرها تدريجياً من 8cm إلى 2cm فإذا كان السرعة عند المقطع (1)هي 9 m/s.أوجد السرعة عند المقطع (2) وأوجد معدل التدفق الحجمي للماء. علماً بأن التدفق مستقر.



الحل:

نظراً لأن التدفق مستقر وكثافة الماء ثابتة فيمكن استخدام المعادلة (3-2) لإيجاد (V_2)وكذلك معدل التدفق. ولكن قبل المباشرة بالحل واستخدام المعادلة

يجب التأكد من تجانس الوحدات، حيث أعطيت السرعة بوحدة m/s والقطر بوحدة cm.

$$A_1 = \frac{\pi}{4}(0.08)^2 = \frac{\pi}{4} \times 64 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4}(0.12)^2 = \frac{\pi}{4} \times 144 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\frac{\pi}{4} \times 64 \times 10^{-4} \times 9 = \frac{\pi}{4} \times 144 \times 10^{-4} \times V_2$$

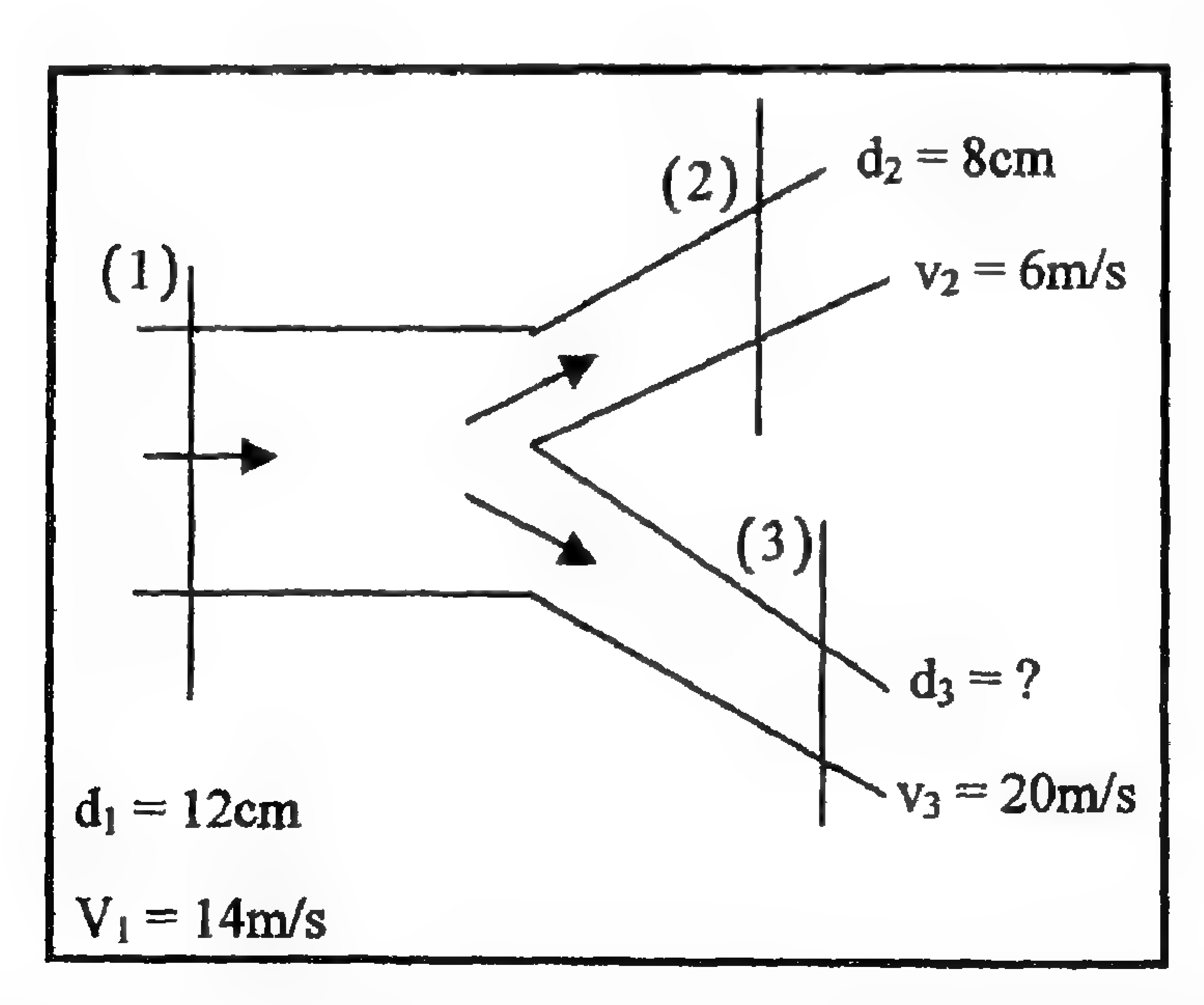
$$V_2 = 4 m/s$$

$$Q = A_1 V_1$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 64 \times 10^{-4}\ m^2 \times 9\ m/s = 452.16 \times 10^{-4}\ m^3/s$$

يمكن استخدام معادلة الاستمرارية لأكثر من غاية وسنحاول أن نبين هذه الأهداف من خلال الأمثلة التالية:

مثال 2-3-3:



في الشكل المبين يتدفق ماء من ماسورة (d_1 = 12Cm) بسرعة مقدارها

14m/s. تتفرع هذه الماسورتين (3-2) فإذا كانت (d_2 = 8cm) و (V_2 = 6m/s)
أوجد قطر الماسورة (3) بحيث لا تقل السرعة فيها عن 20m/s.

الحل:

يتدفق الماء انطلاقاً من الماسورة (1) ويتفرع إلى الماسورتين (2) و (3)
لذا فإن معدل التدفق من (1) يساوي مجموع ما يتدفق من (2) و (3) أي أن:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

أو:

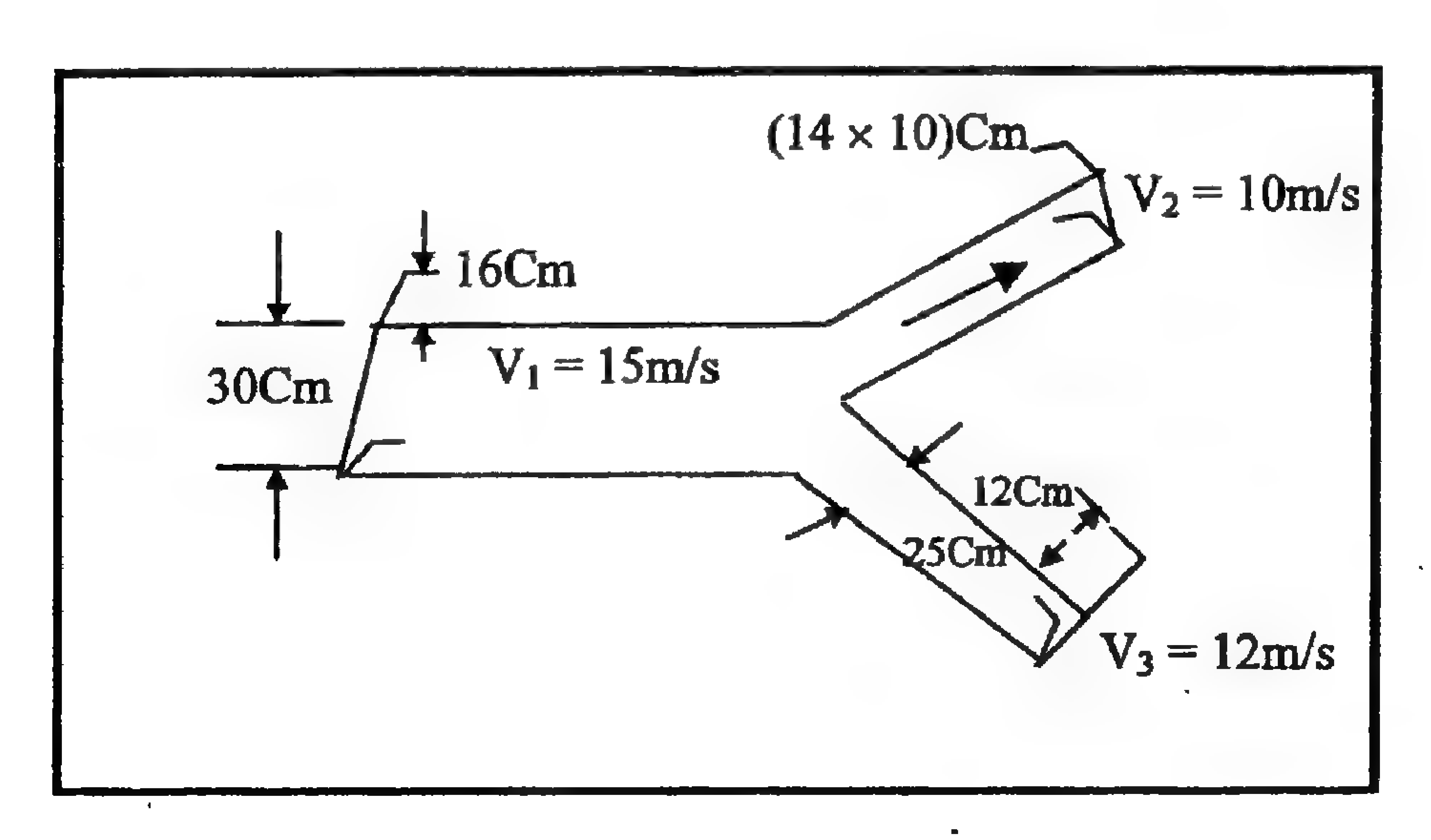
$$A_1V_1 = A_2V_2 + A_3 V_3$$

ومع مراعاة تجانس الوحدات والتي من الأفضل إبقاءها في وحدة المتر.
نجد أن:

$$\frac{\pi}{4}(0.12)^2 \times 14 = \frac{\pi}{4}(0.08)^2 \times 6 + \frac{\pi}{4} d_3^2 \times 20$$

$$\frac{\pi}{4} \times 144 \times 10^{-4} \times 14 = \frac{\pi}{4} \times 64 \times 10^{-4} \times 6 + \frac{\pi}{4} \times d_3^2 \times 20$$

$$d_3 = 11.45 \text{ cm}$$
$$V_3 = 12 \text{ m/s}$$



مثال 3-3

مثال 3-3:

قناة مستطيلة Cm (30 × 16) سرعة جريان الماء فيها 15m/s. تتفرع إلى قناتين مستطيلتين كما في الشكل الأولى Cm(10 × 14)وسرعة جريان الماء فيها 10m/s. والثانية cm (12 × 25) وسرعة جريان الماء فيها 12m/s وهنالك تخوف من أن يفيض الماء في القناة الثالثة بين ما إذا كان هذا صحيحاً أم لا ؟

الحل:

تفيض القناة الثالثة إذا كان ارتفاع الماء فيها أكثر من ارتفاع القناة نفسها لذا يجب إيجاد ارتفاع الماء في القناة الثالثة لمعرفة ما إذا كانت ستفيض أم لا.

$$A_1V_1 = A_2V_2 + A_3V_3$$

$$(30 \times 16) \times 10^{-4} \times 15 = (14 \times 10) \times 10^{-4} \times 10 + A_3 \times 12 \times 10^{-4}$$

ومنه

$$A_3 = 373.3 \text{ Cm}^2$$

$$h_3 = \frac{A_3}{\text{عرض القناة}} = \frac{373.3}{25} = 14.93 \text{ Cm.}$$

وبما أن ارتفاع الماء في القناة اكبر من ارتفاع القناة نفسها فهذا يعني أن القناة سوف تفيض.

يمكن استخدام المثال أعلاه لإيجاد كمية الماء الفائض من القناة حيث كمية الماء الفائض تساوي:

(الارتفاع الزائد للماء × عرض القناة) × السرعة

$$Q = (14.93 - 12) \times 25 \times 12 \times 10^{-4}$$

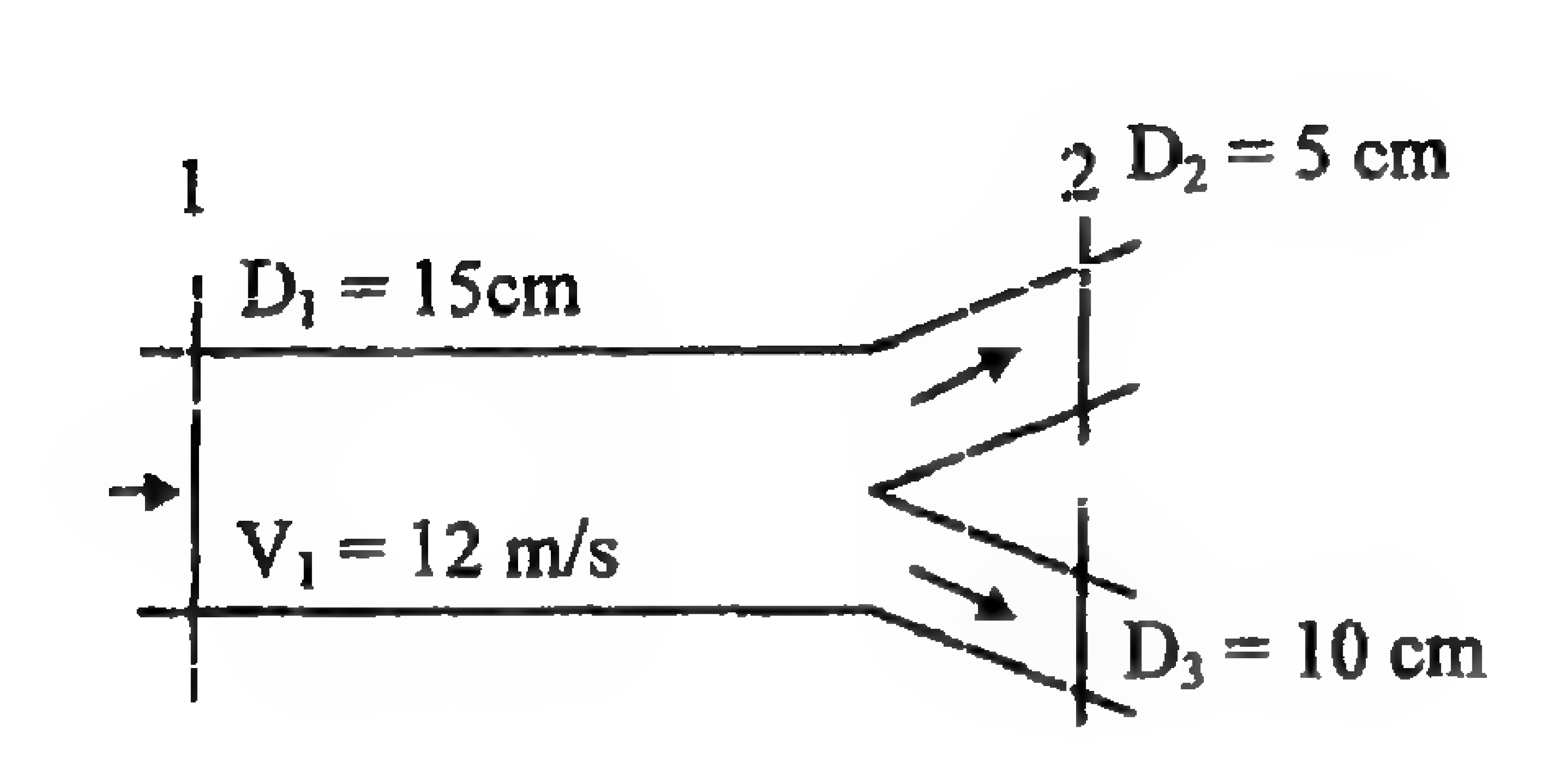
$$= 879 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

يمكن أيضاً استخدام المثال السابق لتحديد أدنى ارتفاع أو أدنى مساحة ممكنة للقنوات بحيث لا يفيض الماء منها.

مثال 4-3:

يتدفق ماء في ماسورة قطرها 15 cm بسرعة 12 m/s. فإذا تفرعت هذه إلى فرعين أحدهما قطره 5 cm والأخر قطره 10 cm وكانت سرعة الماء في الفرع الأصغر ضعفي سرعة الماء في الفرع الأكبر. أوجد سرعة الماء في كل من الفرعين.

الحل:



نفرض أن السرعة في الفرع (3) هي V m/s فتكون السرعة في الفرع (2) هي 2V m/s .

من معادلة الاستمرارية

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$\frac{\pi}{4} \times (0.15)^2 \times 12 = \frac{\pi}{4}(0.05)^2 \times 2V + \frac{\pi}{4}(0.1)^2 \times V$$

$$0.0225 \times 12 = 0.0025 \times 2V + 0.01 \times V$$

ومنه

$$V = 18 \text{ m/s}$$

وهي السرعة في الفرع (3)

أما السرعة في الفرع (2) فهي

$$18 \times 2 = 36 \text{ m/s}$$

الوحدة الرابعة

طاقة المائع في الانسياب المستقر

الوحدة الرابعة

طاقة المائع في الانسياب المستقر

سيتم في هذه الوحدة أخذ الطاقة في الحسبان. فالقانون الأول للديناميكا الحرارية (قانون حفظ الطاقة) يفيد بأن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث بل تتحول من شكل إلى آخر. وفيما يلي تناقش باختصار الأشكال المختلفة للطاقة الموجودة في المائع المنساب:

1- طاقة الحركة (KE) Kinetic Energy:

عندما يتحرك جسم كتلته mkg بسرعة Vm/s فإنه يحمل طاقة حركة مقدارها $KE = \frac{1}{2}mV^2$ فإذا كان المائع ينساب بحيث تتحرك جميع جسيماته بنفس السرعة فإن طاقة حركته تساوي أيضاً $\frac{1}{2}mV^2$ ولوحدة الوزن تصبح:

$$\frac{KE}{\text{الوزن}} = \frac{KE}{\text{الحجم} \times \text{الوزن النوعي}}$$

$$\frac{\frac{1}{2}e.\times \text{الحجم} \times V^2}{e.g.\text{الحجم}} = \frac{V^2}{2g} \quad \text{.......................................} (4\text{-}1)$$

أما وحدة طاقة الحركة في هذه الحالة:

$$\frac{(m/s)^2}{m/s^2} = m$$

2- طاقة الوضع (PE) Potential Energy:

تعتمد طاقة وضع أي جسيم على ارتفاع ذلك الجسم عن خط مرجعي محدد يتم اختياره بما يتلاءم مع المسألة. وغالبا ما يكون الاهتمام بفرق الارتفاع فقط وبالتالي يتم تحديد المستوى المرجعي في مكان مريح. وطاقة الوضع لأي

جسم تساوي وزن الجسم Wمضروباً في ارتفاع الجسم عن ذلك الخط المرجعي Z أي أن:

$$PE = WZ \ N.m$$

وبذلك تكون طاقة الوضع لوحدة الوزن.

$$PE = \frac{WZ}{W} = Z \ m$$

3- الطاقة الداخلية Internal Energy:

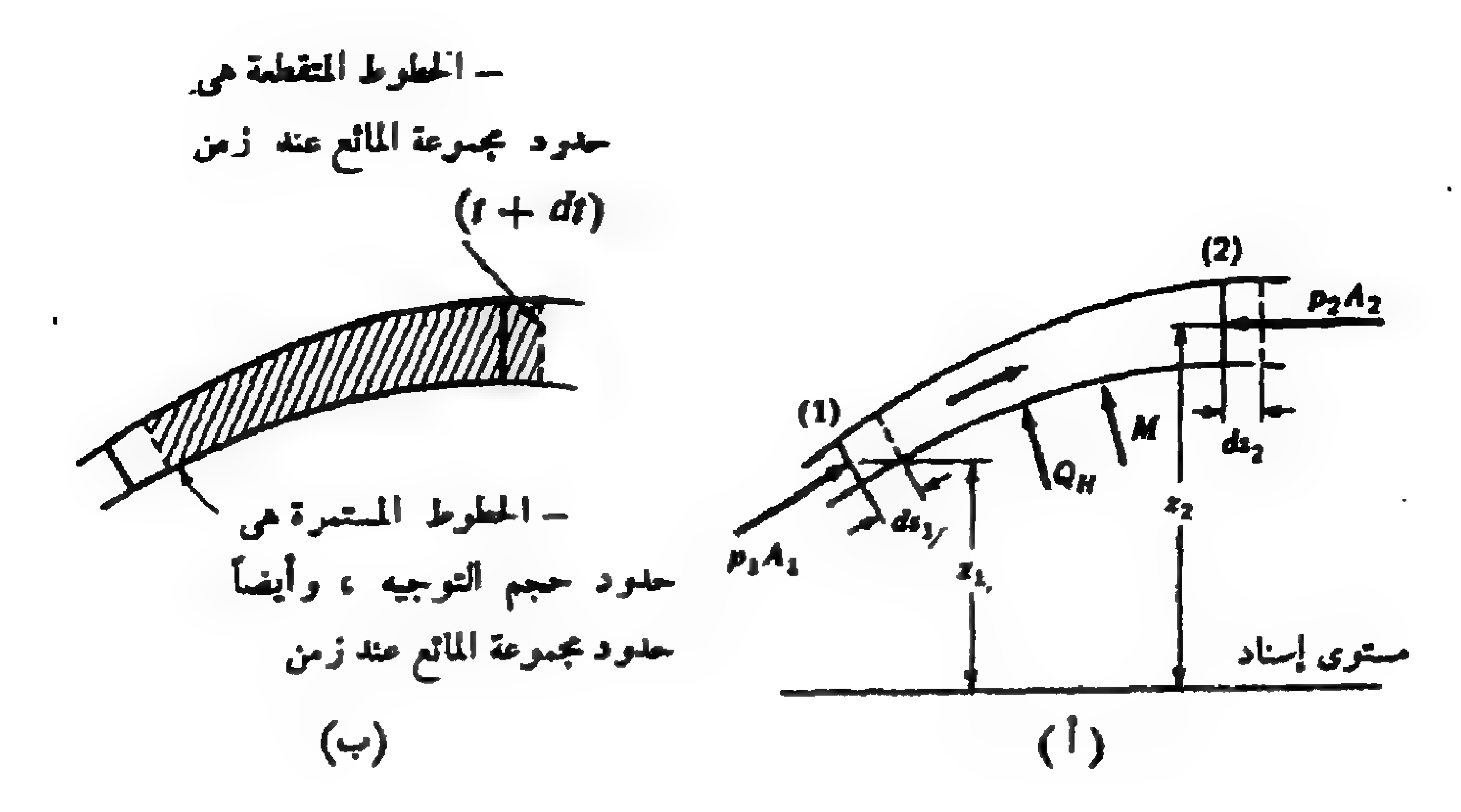
وهي موضحة تماماً في منهاج الديناميكا الحرارية، حيث أنها طاقة حرارية، وهي باختصار الطاقة الناتجة عن حركة الجزيئات وقوى التجاذب بينها وهي تعتمد على درجة الحرارة. وبالتالي يمكن القول أن الطاقة الداخلية لأي مادة تكون صفراً عند درجة حرارة الصفر المطلق. (-273C°) أما عند درجات الحرارة الأخرى فيتم إيجاد الفرق في الطاقة الداخلية بين أي وضعين محددين.

4- طاقة الضغط:

وهي الطاقة المختزنة في الجسم تحت تأثير الضغط الواقع على ذلك الجسم ويمكن أن تسمى سمت الضغط وهي لوحدة الوزن $\frac{P}{\gamma}$ m.

4-2 معادلة الطاقة للانسياب المستقر للموائع الغير قابلة للانضغاط (معادلة برنولي) للسوائل:

للسوائل، وكذلك للغازات والأبخرة عندما يكون التغير في الضغط صغيراً جداً، يمكن اعتبار الوزني النوعي ثابتاً.وكذلك إذا كان التغير في درجة الحرارة محدوداً، وإذا لم يكن آلة بين المقطعين (1 و 2)، فتصبح معادلة الطاقة للمائع الغير قابل للانضغاط.



شكل 4-1

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}Z_2+hl \quad \text{(4-1)}$$

حيث h_L وغالباً ما تسمى بفقد السمت والتي تمثل الطاقة الضائعة لوحدة الوزن بين المقطعين (1 و 2). للمائع الحقيقي لا يمكن أن تكون h_L تساوي صفر، ولكن هناك حالات تكون فيها صغيرة بحيث يمكن إهمالها مع خطأ صغير. وفي هكذا حالة تصبح المعادلة:

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2 \quad \text{(4-2)}$$

أي أن مجموع طاقة المائع يبقى ثابتا. وتعرض هذه المعادلة باسم معادلة برنولي نسبة إلى دانييل برنولي الذي قدمها عام 1738. مع ملاحظة أن الصيغة (4-2) هي للمائع المثالي عديم الاحتكاك والغير قابل للانضغاط.

ولكن يمكن تطبيقها على الموائع الحقيقية الغير قابلة للانضغاط مع نتائج جيدة في المواقع التي يكون فيها تأثير الاحتكاك صغيراً جداً.

أما إذا لم يكن الاحتكاك مهملاً فيجري إضافة (h_L) على أحد طرفي المعادلة حيث تمثل h_L كمية الطاقة المفقودة بشكل عام.أو تسمى (h_f) كمية الطاقة المفقودة بالاحتكاك.

جميع الحدود في المعادلة (2-4) بوحدة الطول (m) لذلك يمكن أن تسمى سمت مثل سمت الضغط $\frac{p}{\gamma}$وسمت الارتفاع وسمت السرعة $\frac{V^2}{2g}$ وقد يسمى مجموع هذه الحدود بالسمت الكلي (H) حيث:

$$H= \frac{p}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} \quad \text{.................} \quad (4\text{-}3)$$

كل من هذه الحدود وبالرغم من أنه بوحدة الطول (m)، إلا أنه يمثل نيوتن – متر لكل نيوتن (N.m/N) من الطاقة.

للمائع المثالي اللااحتكاكي $H_1 = H_2$، لكن للمائع الحقيقي وفي حالة عدم وجود آلة بين المقطعين (1 و 2) فإن السمت الكلي يجب أن ينخفض باتجاه الانسياب.

$$H_1 = H_2 + h_L \quad \text{.................} \quad (4\text{-}4)$$

وإذا كان هناك آلة بين المقطعين (1 و 2)

$$H_1 + h_m = H_2 + H_L \quad \text{.................} \quad (4\text{-}5)$$

يلاحظ أنه قد تم إضافة h_m إلى H_1 وذلك لأن المائع عند المقطع (1) يمتلك كمية معينة من الطاقة (H) ولكنه قد يحتاج إلى طاقة إضافية (hm) (مضخة مثلا) للوصول إلى المقطع (2) لذا تضاف h_m. إلى (H_1). وأثناء الانسياب بين (1 و 2) قد يفقد المائع جزءاً من طاقته، وبما أنه يفقد إذن h_L سالبة بالنسبة إلى المقطع (1) أي أن المجموع الكلي للطاقة قبيل وحول المائع إلى المقطع (2) هو ($H_1 + h_m - h_l$) وهذا يعادل H_2.

أي أن:

$$H_1 + h_m - h_L = H_2$$

أو

$$H_1 + h_m = H_2 + h_L$$

وهي نفس صيغة المعادلة (5-4).

أما في حالة أن يستخدم المائع عند المقطع (2) مثلاً جزءاً من طاقته إلى توربين لتوليد الطاقة الكهربائية (H_T) ويبقى بعد ذلك لدى المائع كمية من الطاقة H_1 عند المقطع (1) فهذا يعني أن:

$$H_2 - H_T = H_1 + h_L$$

أو

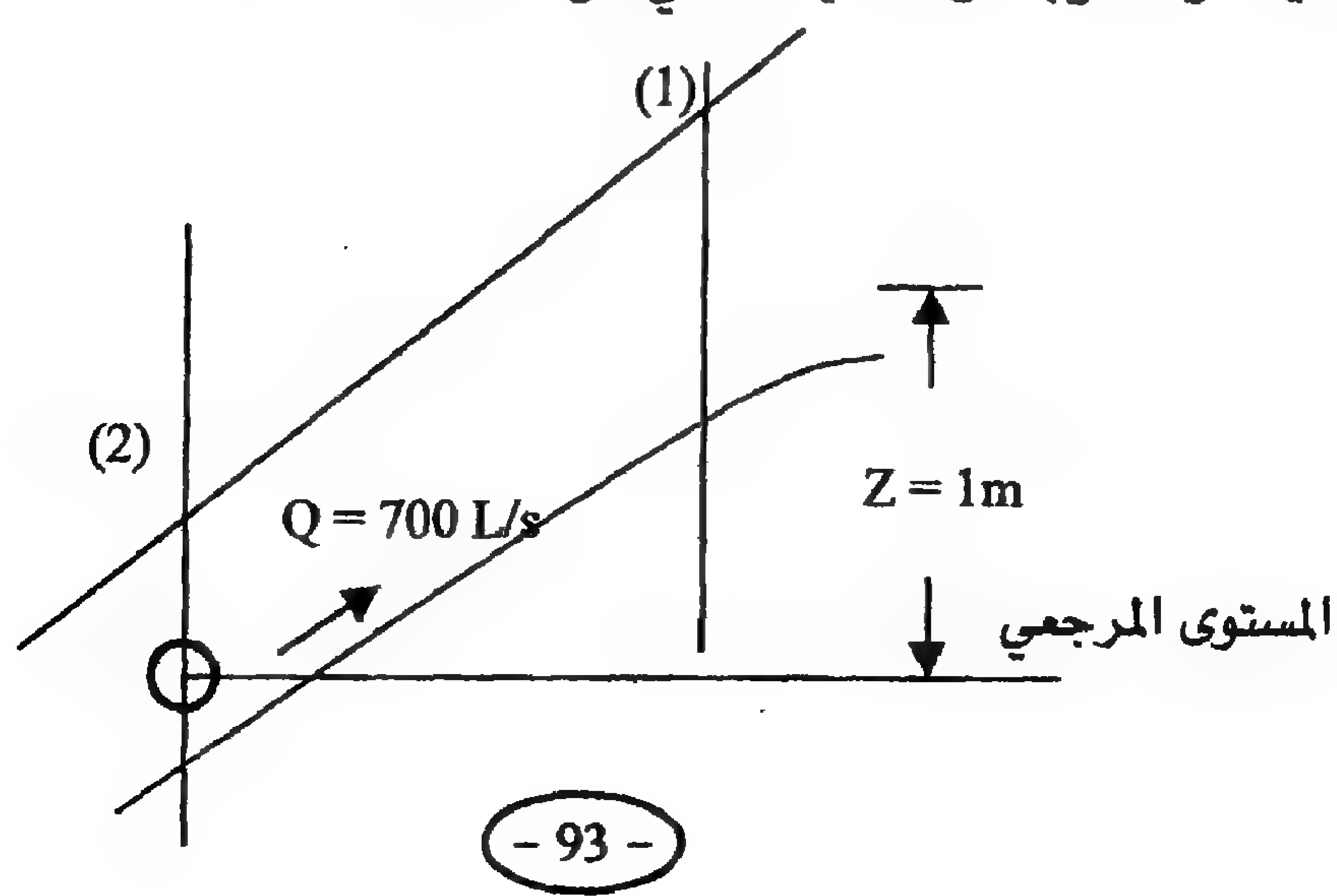
$$H_2 = H_1 + h_l + H_T \quad \text{.......................................(4-6)}$$

مثال 1-4:

ينساب مائع (e = 1.26) في ماسورة بمعدل (700L/s). وعند نقطة ماء كان قطر الماسورة 0.6m وكان ضغط المائع $300KN/m^2$.أوجد الضغط عند نقطة ثانية حيث قطر الماسورة 0.3m إذا كانت النقطة الثانية 1m تحت مستوى النقطة الأولى. أهمل فقد السمت.

الحل:

كما ذكرنا سابقاً، من الضروري عمل رسم تخطيطي للمسألة وتحديد المعطيات والمطلوب لأن هذا يساعد في حل المسألة.



$d_2 = 0.3m$ $d_1 = 0.6m$

$Z_2 = 0$ $P_1 = 300KN/m^2$

$P_2 = ?$

من المعروف أن $1000L = 1m^3$

إذن معدل التدفق Q هو

$$\frac{700}{1000} = 0.7 m^3/s$$

لإيجاد السرعة في كل من (1 و 2) نستخدم معادلة الاستمرارية.

$A_2V_2 = Q = A_1V_1$

حيث:

$$A_1 = \frac{\pi}{4}(0.6)^2 = 0.283m^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \times (0.3)^2 = 0.07\ m^2$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.7}{0.283} = 2.47m/s$$

$V_2 = 0.7/0.07 = 10m/s$

بما أن النقطة (2) أسفل النقطة (1) بمقدار 1m إذن يكون:

$(Z_1 - Z_2) = 1m$

يمكن الآن تطبيق معادلة برنولي:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

ومنه:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + (Z_1 - Z_2)$$

$$= \frac{300 \times 10^3}{1.26 \times 9.81 \times 10^3} + \frac{(2.47)^2 - (10)^2}{2 \times 9.81} + 1$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 24.27 + (-1.78) + 1$$

$$= 23.5m$$

$$P_2 = 23.5 \times 1.26 \times 9.81 \times 10^3$$

$$= 290.5\ KN/m^2$$

من الملاحظ أن ضغط المائع ينخفض لحساب زيادة سرعة المائع (طاقة الحركة).

4-3 اعتبارات القدرة في انسياب المائع:

من الملاحظ في معادلة برنولي أنه قد تم استبعاد وزن المائع من المعادلة حيث تمثل هـذه المعادلة الطاقة لكل وحدة وزن من المائع (أي سمت الطاقة). فإذا ضرب سمت الطاقة في معدل وزن انسياب المائع فإن ناتج الضرب يمثل: القدرة هي (القدرة هي الطاقة الناتجة في وحدة الزمن).

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الوزن}} \times \frac{\text{الوزن}}{\text{الزمن}} = H.\gamma.\ Q$$

حيث:

Q: معدل الانسياب m^3 / s.

γ: الموازن النوعي للمائع N/m^3.

H: السمت الكلي للطاقة m.

القدرة (كيلو واط K.w).

$\frac{\gamma.Q.H}{1000}$ .. KW.. (4-7)

القدرة بالحصان hp =

0.746 × KW .... (4-8)

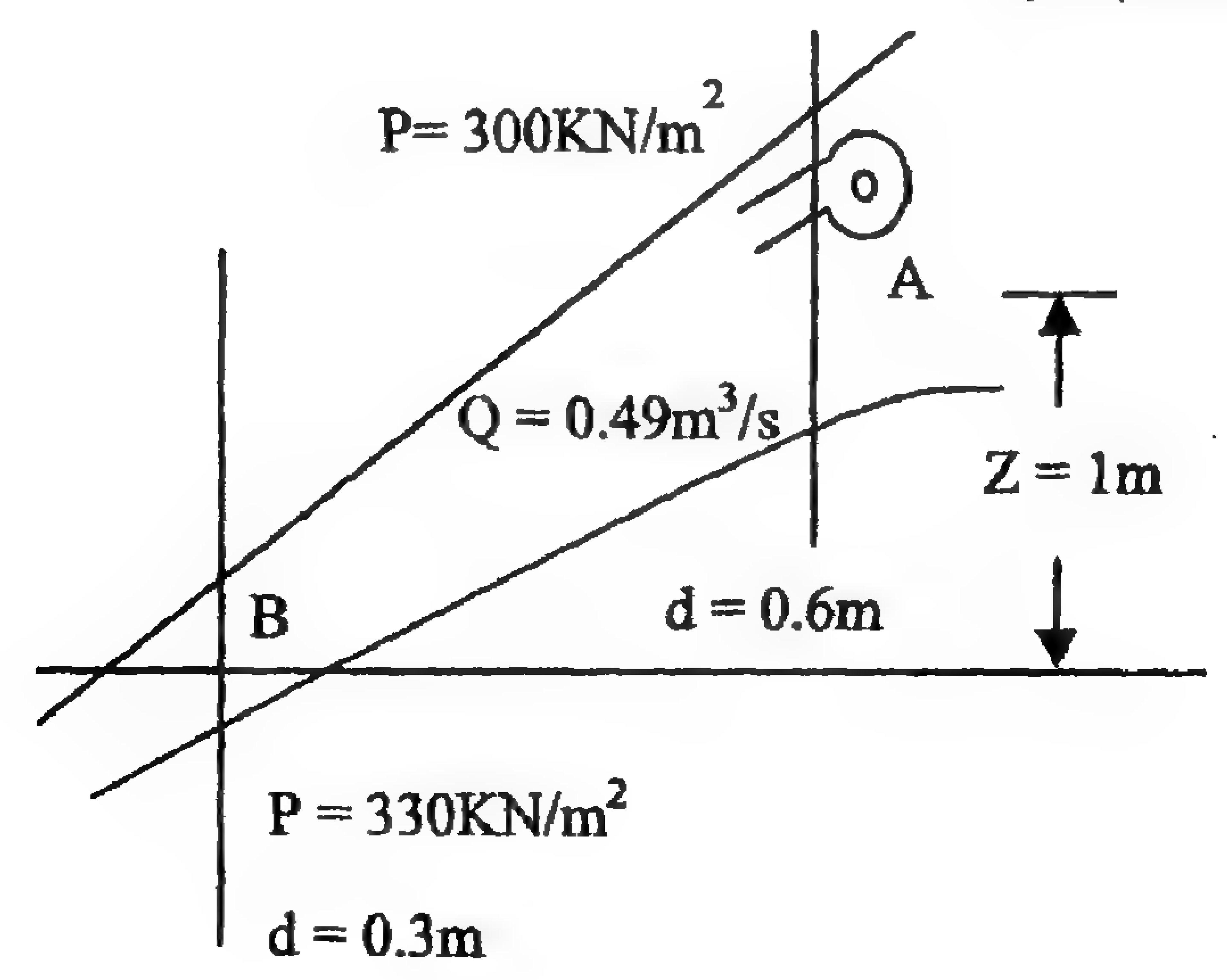
يمكن من المعادلات (4-7) و (4-8) إيجاد المقدرة لأي سمت ضغط فمثلاً يمكن إيجادها لسمت السرعة، وفي هذه الحالة تكون قيمة H هي $\frac{V^2}{2g}$، وإذا كان المطلوب إيجاد القدرة المفقودة نستخدم H_L بدل H وهكذا.

مثال 4-2:

مائع كثافته النسبية 1.26 يتم ضخه في ماسورة عن النقطة A حيث d = 0.6m و $P = 300KP/m^2$ إلى النقطة B حيث d = 0.3m و $P = 330KN/m^2$. فإذا كانت النقطة A تعلو النقطة B بمقدار 1m وكان معدل التدفق هو $0.49m^3/s$ أوجد قدرة المضخة مهملاً الفواقد. علماً بأن المضخة مثبتة عند النقطة A .

الحل:

نلاحظ من الرسم أن هذا الوضع يشبه الوضع في المثال 4-1 مع فارق أن الضغط عند النقطة (2) كان أقل من الضغط عند النقطة (1) بينما ارتفع الضغط في النقطة B في هذا المثال، ويعزى ذلك إلى وجود مضخة في A ترفع ضغط المائع بحيث يصل إلى B عند ضغط أعلى منه عند A ومعنى هذا أن مجموع طاقة (سمت المضخة) H_m مضافاً إليه سمت النقطة A (H_A) يساوي سمت النقطة B (H_B)



$H_B = H_A + H_m$

من معرفة Q نجد السرعة عند A وهي:

$$V_1 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{0.49}{\frac{\pi}{4}\times(0.6)^2} = 1.375 m/s$$

السرعة عند B.

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{0.49}{\frac{\pi}{4}\times(0.3)^2} = 7 m/s$$

نطبق معادلة برنولي آخذين بعين الاعتبار وجود المضخة لتصبح العلاقة:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_m = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$\frac{300\times10^3}{1.26\times9.81\times10^3} + \frac{(1.375)^2}{2\times9.81} + 1 + H_m = \frac{330\times10^3}{1.26\times9.81\times10^3} + \frac{(7)^2}{2\times9.81} + 0$$

ومنه:

$H_m = 3.836 m$

قدرة المضخة بالكيلو واط $= \frac{H.\gamma.Q}{1000}$

$$= \frac{3.83\times1.26\times9.81\times10^3\times0.49}{1000} = 23.2\ KW$$

القدرة بالحصان الميكانيكي hp

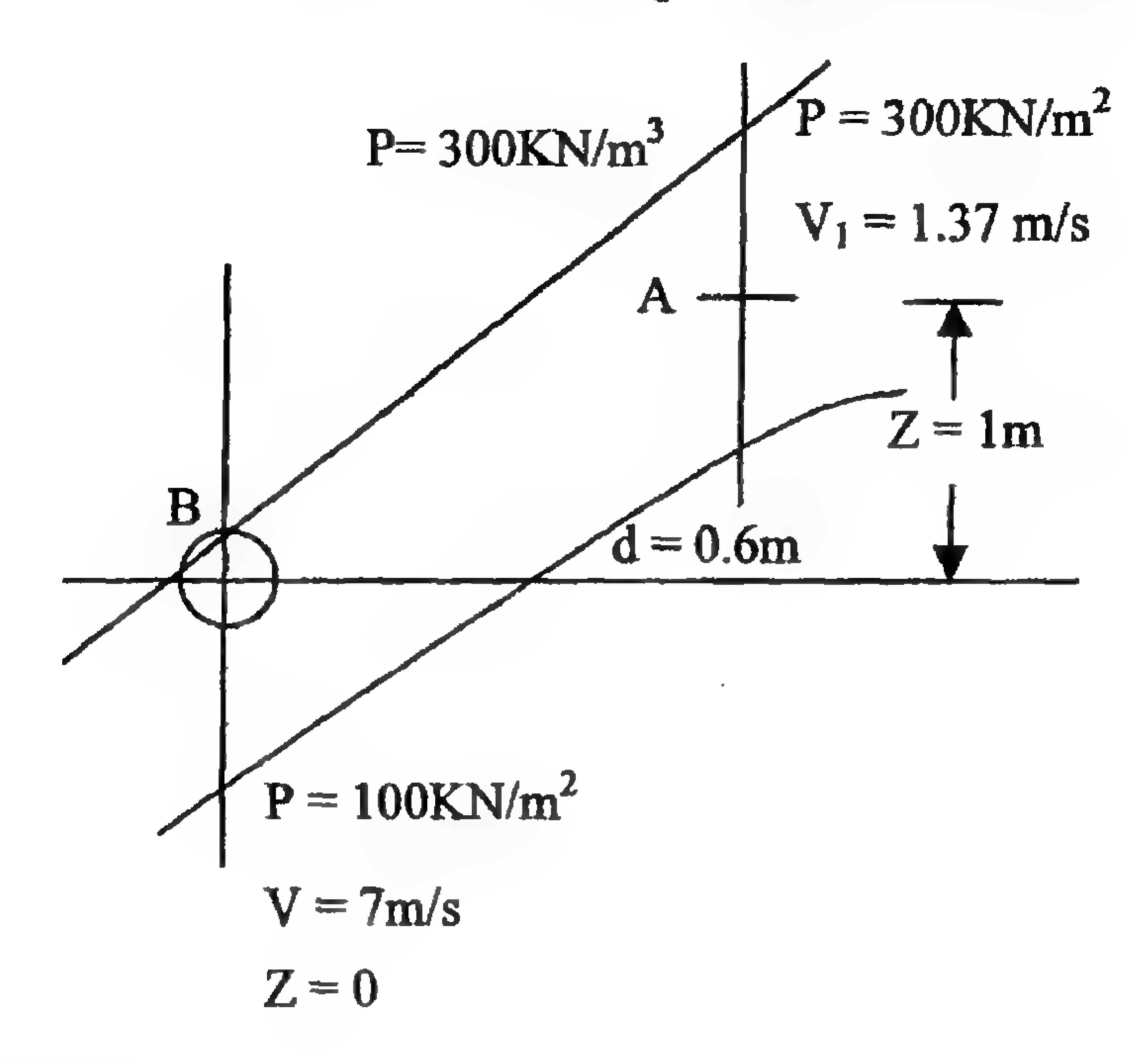
$$hp = KW \times 0.746 = 23.2 \times 0.746$$
$$= 17.3$$

مثال 3-4:

في المثال السابق وبدون وجود المضخة. إذا وضع توربين في النقطة B لإنتاج الطاقة الكهربائية. أوجد القدرة التي ينتجها التوربين. إذا كان الضغط عند B يعادل $100 KN/m^2$.

الحل:

نطبق معادلة برنولي مع ملاحظة أن الطاقة الكلية في A تساوي الطاقة الكلية في B مضافاً إليه الطاقة التي ينتجها التوربين.



$H_A = H_B + H_T$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_{1m} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_T$$

من المثال السابق:

$V_1 = 1.375 m/s$

$V_2 = 7 m/s$

$$\frac{300\times 10^3}{1.26\times 9.81\times 10^3} + \frac{(1.375)^2}{2\times 9.81} + 1 = \frac{100\times 10^3}{1.26\times 9.81\times 10^3} + \frac{(7)^2}{2\times 9.81} + 0 + H_T$$

ومنه:

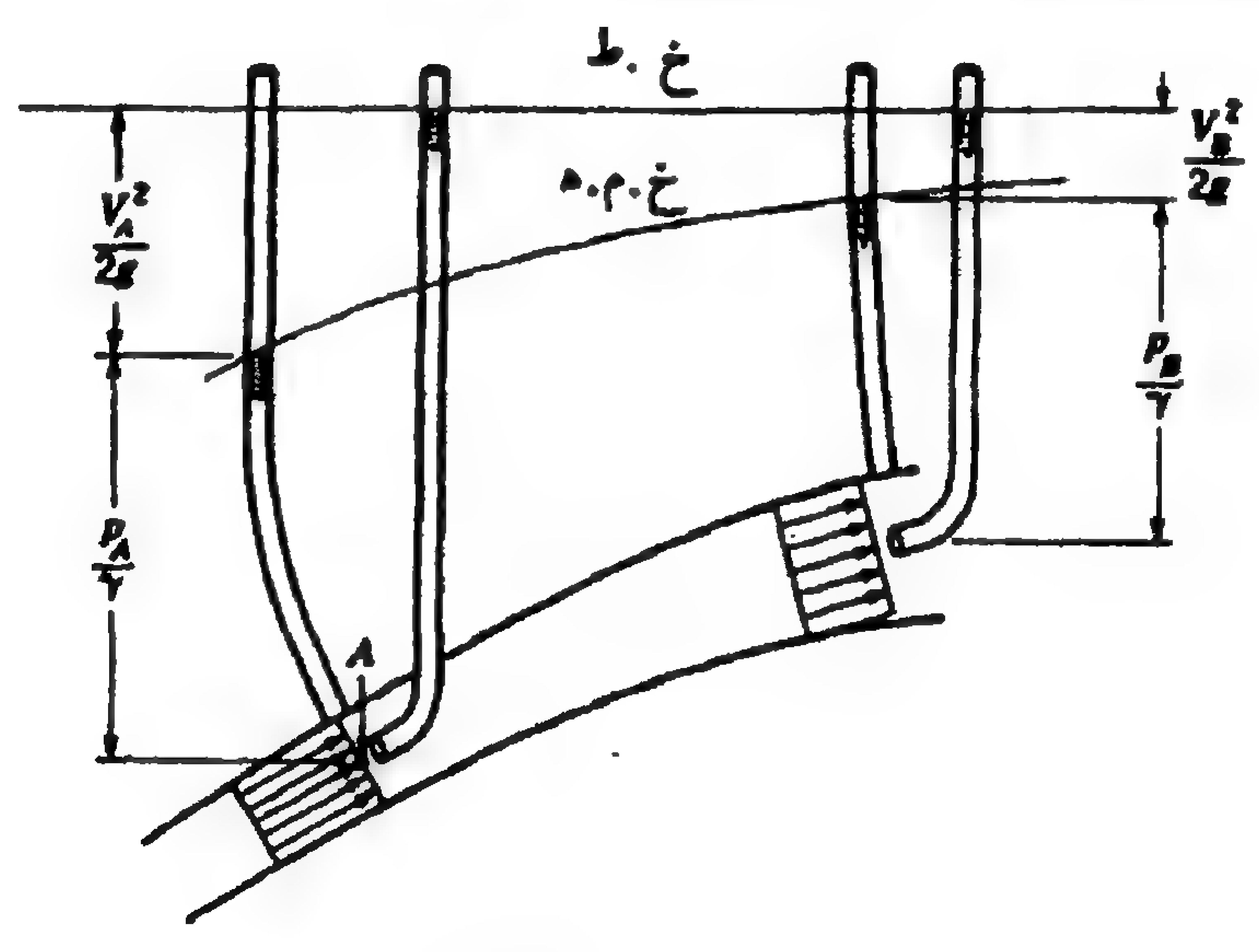
$H_T = 13.8m$

$$\text{القدرة} = \frac{H.\gamma.Q}{1000}$$

$$= \frac{13.8\times1.26\times9.81\times10^3\times0.49}{1000} = 83.6KW$$

4-4 خط الميل الهيدروليكي وخط الطاقة:

يمثل الحد $(\frac{P}{\gamma} + Z)$ السمت الاستكاتيكي للمائع أو كما يمكن أن يسمى السمت البيزوميتري لأنه يمثل المنسوب الذي يرتفع إليه المائع من أنبوب البيزوميتر كنتيجة للضغط، كما الشكل (2-4) ويسمى الخط الواصل بين نقطتي السمت الاستكاتيكي بخط الميل الهيدروليكي (خ.م.هـ) أو هو الخط المرسوم على قمم أعمدة البيزوميتر.



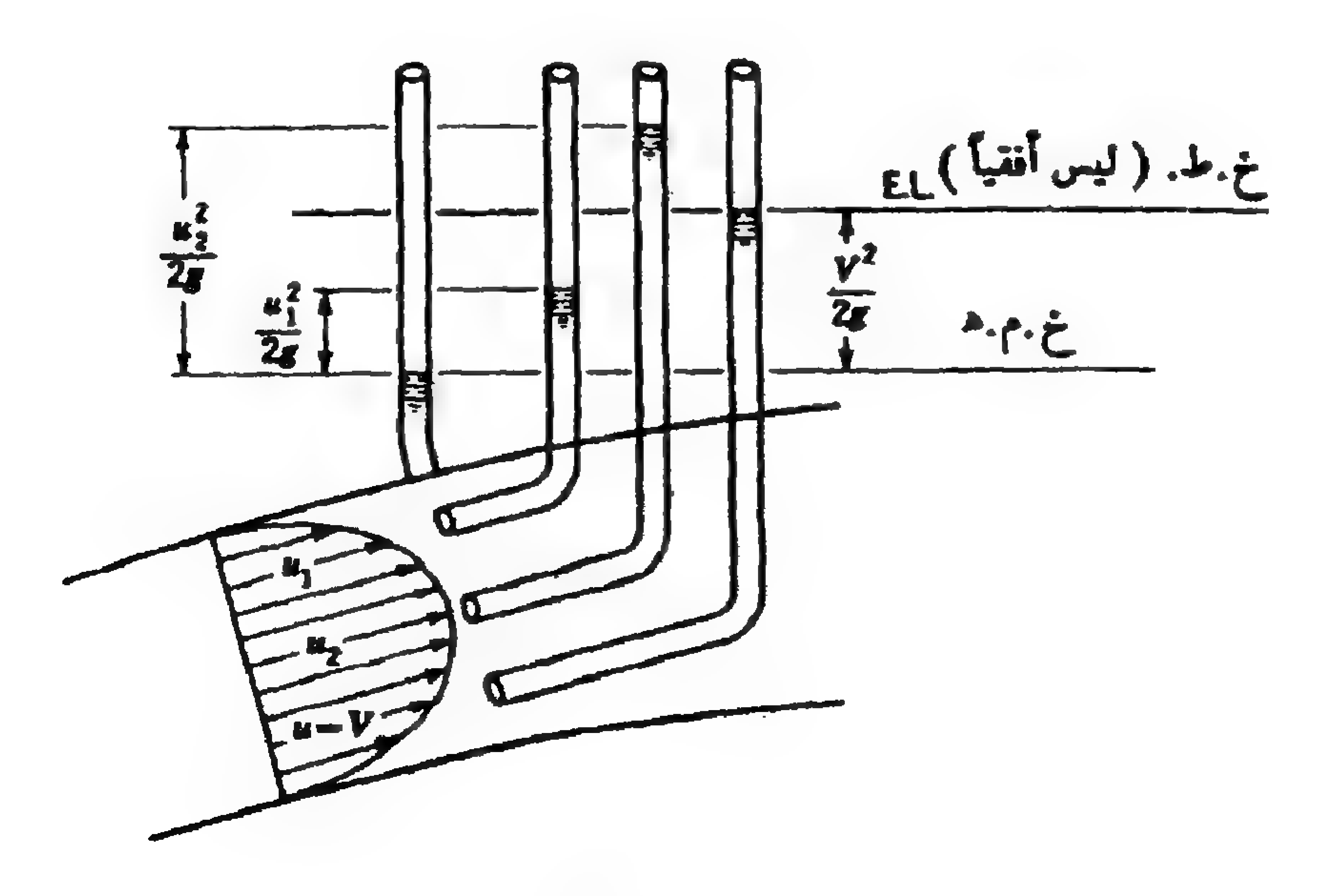
شكل 2-4

مع ملاحظة أن أنبوب البيزوميتر موصول مع نقطة على محيط الماسورة. ولو تتم وضع أنبوب آخر بحيث ينتهي في وسط الماسورة بحيث يعترض حركة الانسياب كما في الشكل أعلاه لأعطى قراءة تختلف عن قراءة البيزوميتر وهو

بذلك يعطي قراءة الطاقة الكلية للمائع بما فيها طاقة الحركة $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$، مثل هـذا الأنبـوب يعطـي $\left(\frac{P}{\gamma}+Z+\frac{V^2}{2g}\right)$ وهـو سمت الطاقـة الكليـة. يسمـى هـذا الأنبـوب أنبوب بيتوت Pitottube أو أنبوب التصدي.

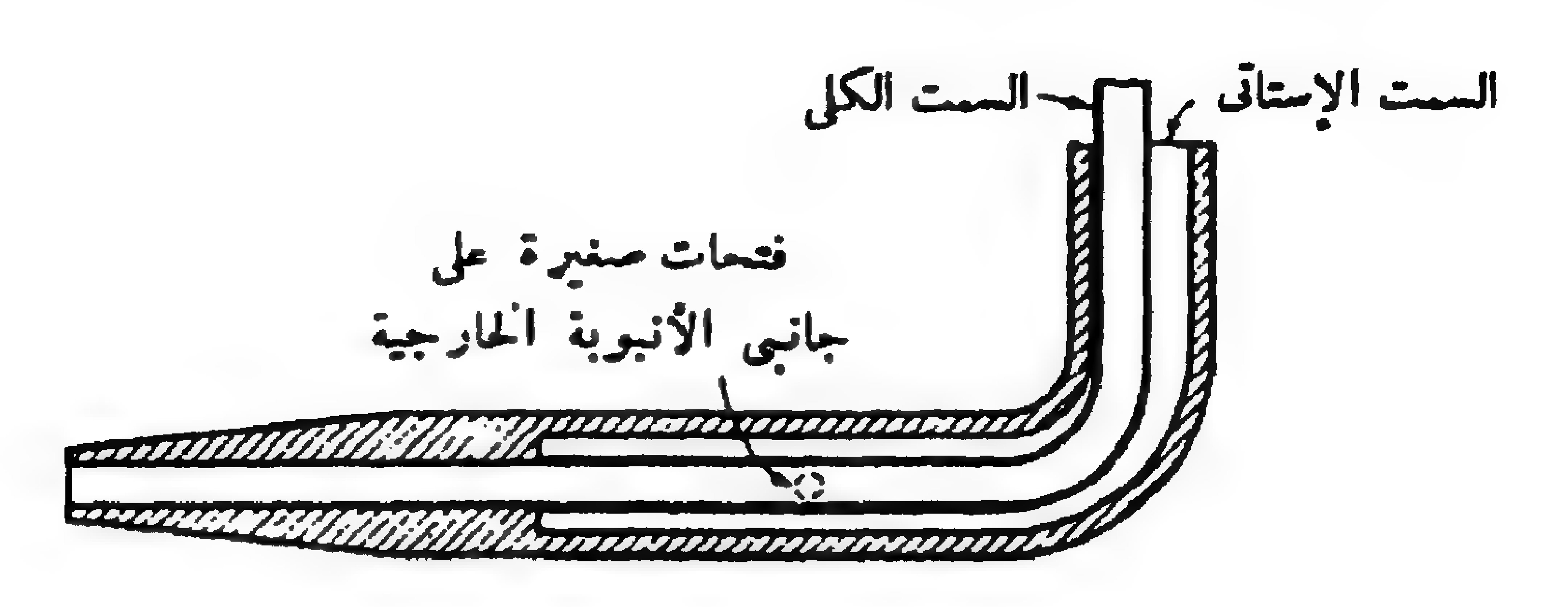
ويمثل الخط الأفقي المرسوم بين النقطتين على أنبوب بيتوت بخط الطاقة (خ.ط). ويمثل الفارق بين قراءة أنبوب بيتوت وأنوب البيزوميتر - طاقة الحركة $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ كما في الشكل

ويما أن سرعة المائع داخل الماسورة تختلف موضعياً حسب البعد عن مركز الأنبوب فسوف يكون من الصعب تحديد المستوى الذي يجب أن يوضع فيه أنبـوب بيتـوت لتحديد مستوى الطاقـة الكليـة ويبـين الشـكل (3-4) تغـير سـرعة المـائع (الحقيقي بتغير البعد عن جدار الأنبوب كما بيننا ذلك في الوحدة السابقة.



الشكل 3-4

كما وبين الشكل (4-4) أنبوب بيتوت الذي يمكن بواسطته قياس السمت الكتلي والسمت الاستكاتيكي حيث يوجد فتحات صغيرة على جانبي الانبوبة الخارجية يدخل منها المائع ليعطي السمت الاستكاتيكي بينما تسجل الأنبوبة الخارجية السمت الكلي ويكون الفارق بين القراءتين مقدار سمت السرعة.



شكل 4-4

يستفاد من (خ.م.هـ) في معرفة تغيرات الضغط على طول الماسورة، فهو يعطي فكرة واضحة عن هذه التغيرات بمجرد النظر. وعادة يعتبر (خ.م.هـ) مستقيماً فقط في حالة كون الماسورة مستقيمة وذات قطر منتظم. حيث تؤدي التغيرات في قطر الماسورة إلى تغيرات حادة في (خ. م. هـ) نظراً لأن ذلك يؤدي إلى تغيرات في السرعة التي لا تظهر في (ح. م.هـ) بل تظهر في خط الطاقة (خ.ط) الذي يأخذ السرعة (طاقة الحركة) بعين الاعتبار.

فارق الارتفاع بين (ح. م.هـ) و (خ. ط) عند أي نقطة يمثل سمت طاقة الحركة عند تلك النقطة.

إذا كان سمت السرعة ثابتاً فإن (خ. ط) يوازي (ح. م. هـ) وفي هذه الحالة يكون الانخفاض في (خ. م. هـ) هو مقدار السمت المفقود. ويعتبر ميل (خ. م. هـ) في هذه الحالة مقياساً لمعدل فقدان الطاقة في الماسورة. معدل الفقد في الماسورة الأكبر يكون عادة أقل بكثير منه في الماسورة الأصغر. وفي حال تغير

السرعة يرتفع خط الميل الهيدروليكي عند انخفاض السرعة وينخفض كلما ارتفعت السرعة (يطلب من الطالب تفسير ذلك على أساس معادلة برتولي).

بالإضافة إلى أنبوب بيتوت لقيس سرعة المائع، توجد وسائل أخرى يبين الشكل (5-4) أحداها وهو عبارة عن قياس بالتيار ويتألف من عجلة ذات شفرات أو زعانف تدور عند اصطدام الماء الجاري فيها ويتم توجيهها باتجاه التيار بواسطة الألواح الموجودة في الذيل. يتم تمرير تيار كهربائي إلى العجلة من مصدر خارجي، مع وجود قاطع تيار يقوم بقطع التيار عن العجلة كل دورة، ومع وجود عداد للدورات يتم معرفة عدد الدورات ومن خلالها سرعة المائع، لذا يمكن معرفة سرعة المائع عند العمق الذي نريد وذلك بغمس الجهاز إلى العمق المراد قياس السرعة عنده.

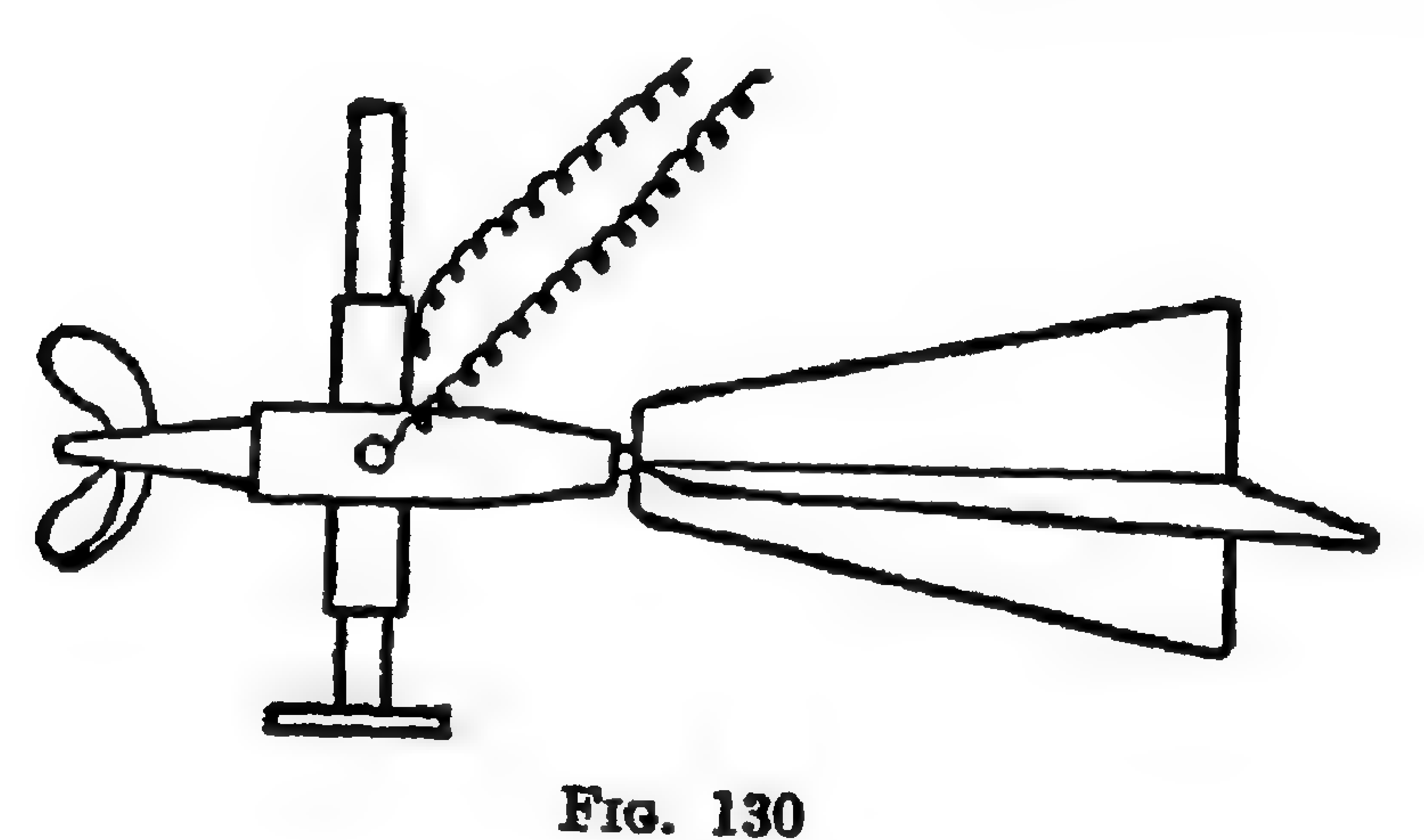


FIG. 130

شكل (5-4)

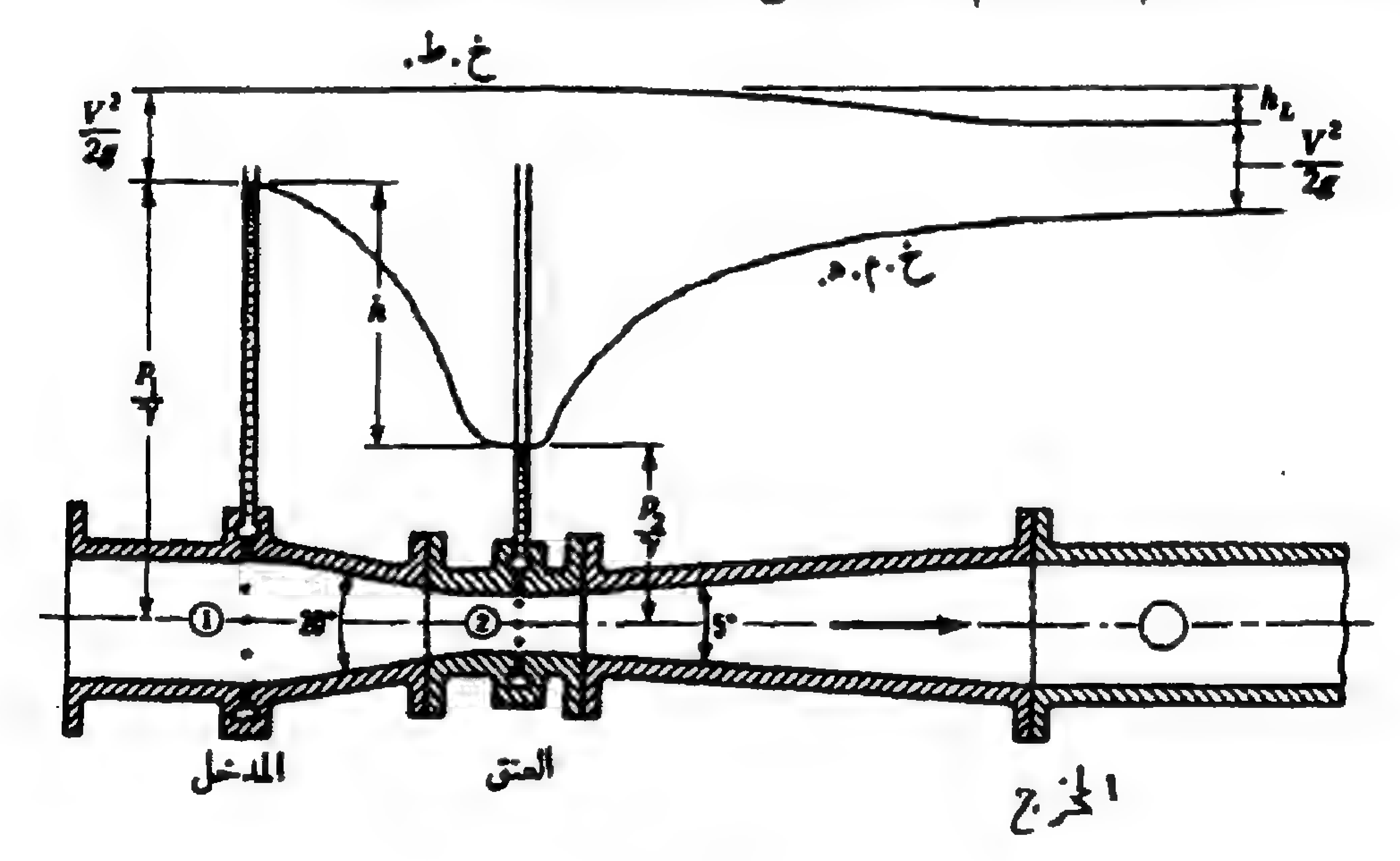
توجد معادلتان أساسيتان لحل المساءل المتعلقة بانسياب الموائع هما معادلة الاستمرارية (معادلة حفظ الكتلة) ومعادلة برتولي (معادلة حفظ الطاقة) بالصيغ الذي ذكرت في هذه الوحدة. وفي حالة وجود أكثر من مجهول واحد يتعذر معه استخدام معادلة برتولي فيجب استخدام معادلة الاستمرارية لإيجاد بعض هذه المجاهيل.

4-5 تطبيقات على معادلة برنولي:

1- أنبوبة فنشوري Venturi-meter:

تعتبر الأنبوبة المتقاربة المقطع وسيلة جيدة لتحويل سمت الضغط إلى سمت سرعة، وهي المبينة في الشكل (6-4) بين المدخل والعنق.

بينما تحول الأنبوبة المتباعدة المقطع بين العنق والمخرج سمت السرعة إلى سمت ضغط وعند جمع الاثنين معا يتكون أنبوب الفنشوري حيث ينتج عن الجزء الأول زيادة في السرعة مصحوبة بانخفاض في الضغط. يليها جزء تدريجي التباعد حيث تتحول السرعة ثانية إلى ضغط مع فقد احتكاك قليل ويستخدم الفنشوري لقياس معدل انسياب الموائع القابلة للانضغاط والموائع الغير قابلة للانضغاط وسيتم الاهتمام هنا بالموائع الغير قابلة للانضغاط.



شكل 6-4

عند كتابة معادلة برنولي بين المقطعين 1 و 2 في الشكل (5-4) على فرض عدم وجود فواقد نجد أن:

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2$$

نظراً لان الفنشوري في وضع أفقي فإن $Z_1 = Z_2$، وعلى فرض أن المائع غير قابل للانضغاط، أي أن γ لا تبقى ثابتة تصبح العلاقة:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{1g}$$

من معادلة الاستمرارية:

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2}V_1$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 V_1^2 - V_1^2$$

$$= \frac{V_1^2\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]}{2g}$$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{V_1^2\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]}{2g}$$

$$\frac{2g.\Delta P}{\gamma} = V_1^2\left[(A_1/A_2)^2 - 1\right]$$

$$V_1^2 = \frac{2g.\Delta P}{\gamma\left[(A_1/A_2)^2 - 1\right]}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2g.\Delta P}{\left[\gamma\ (A_1/A_2)^2 - 1\right]}} \quad \text{.........} \quad (4\text{-}9)$$

إذن كان هناك فارق في المستوى $(Z_1 \neq Z_2)$ تصبح المعادلة:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2g.(\Delta P + \Delta Z)}{\gamma\left[\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right]}} \quad \text{.........} \quad (4\text{-}10)$$

وهي سرعة المائع قبل الدخول في الفنشوري.

يمكن بنفس الطريقة إيجاد V_2 سرعة المائع داخل الفنشوري وهي:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g.(\Delta P + \Delta Z)}{\gamma\left[1 - \frac{A_1^2}{A_2^2}\right]}} \quad \text{.......... (4-11)}$$

يمكن اشتقاق المعادلة (4-9) بصيغة أخرى في حالة $Z_2 = Z_1$، ويمكن اعتبار أن:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = H$$

لتصبح العلاقة

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = H = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

بالتعويض $V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1}$ من معادلة الاستمرارية.

$$H = \frac{V_2^2 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right) V_2^2}{2g}$$

$$= \frac{V_2^2}{2g}\left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)$$

$$= \frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{A_1^2 - A_2^2}{A_1^2}\right)$$

$$V_2^2 = \frac{2gH \cdot A_1^2}{A_1^2 - A_2^2}$$

$$V_2 = \frac{A_1 \sqrt{2\theta H}}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \quad \text{.......... (4-12)}$$

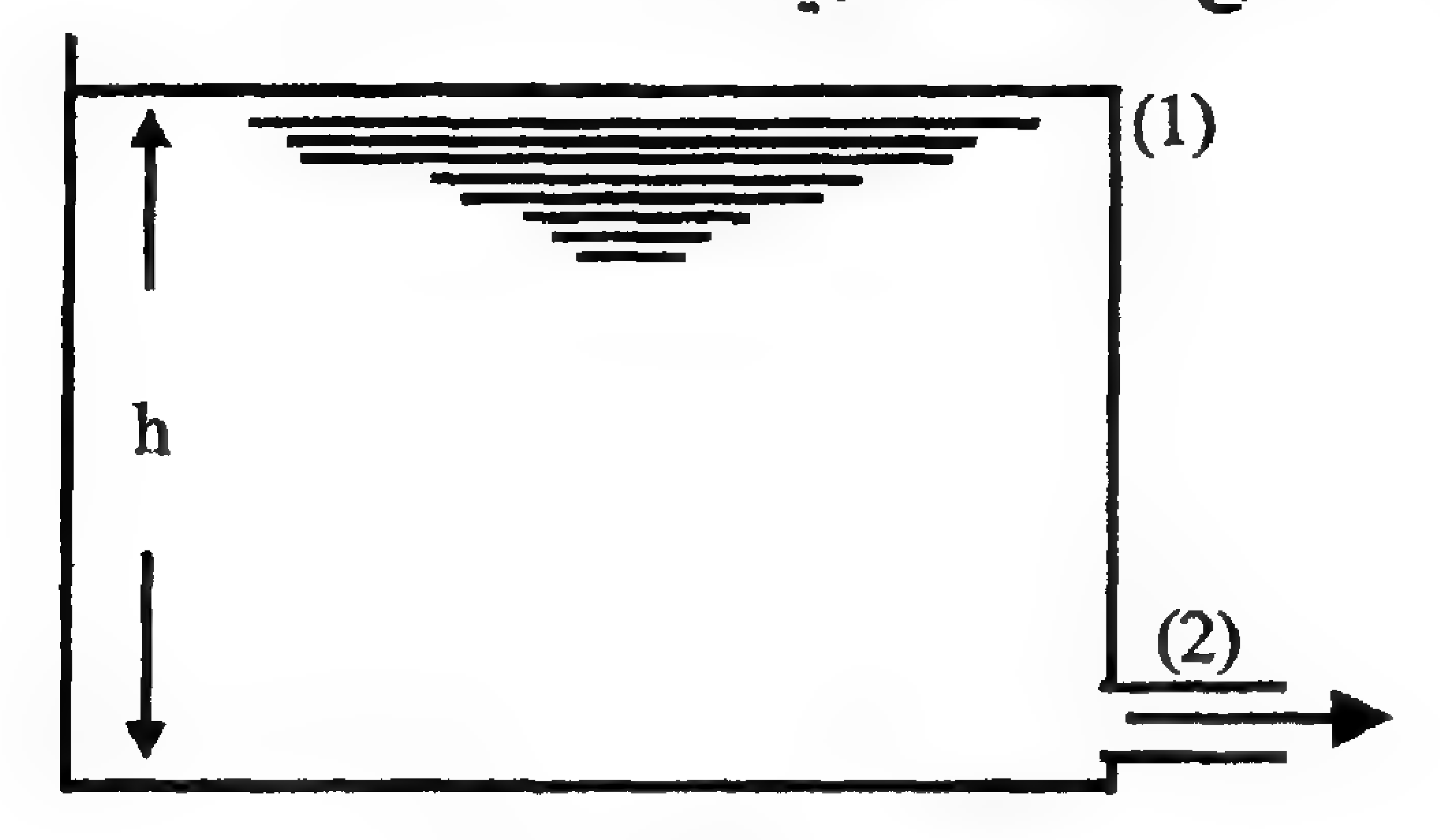
$$Q = A_2 V_2$$

$$= \frac{A_1 A_2 \sqrt{2g H}}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \quad \text{.......... (4-13)}$$

2- التدفق عبر فتحة أسفل خزان مفتوح:

يبين الشكل (7-4) خزان مفتوح للضغط الجوي. يحتوي مائع بارتفاع h.

بما أن الخزان مفتوح للضغط الجوي $P_1 = P_2 = P_{ata}$.



شكل 4-7

وكذلك $V_1 = 0$ و $Z_1 = h$ و $Z_2 = 0$.

بتطبيق معادلة بدنولي.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_2^2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

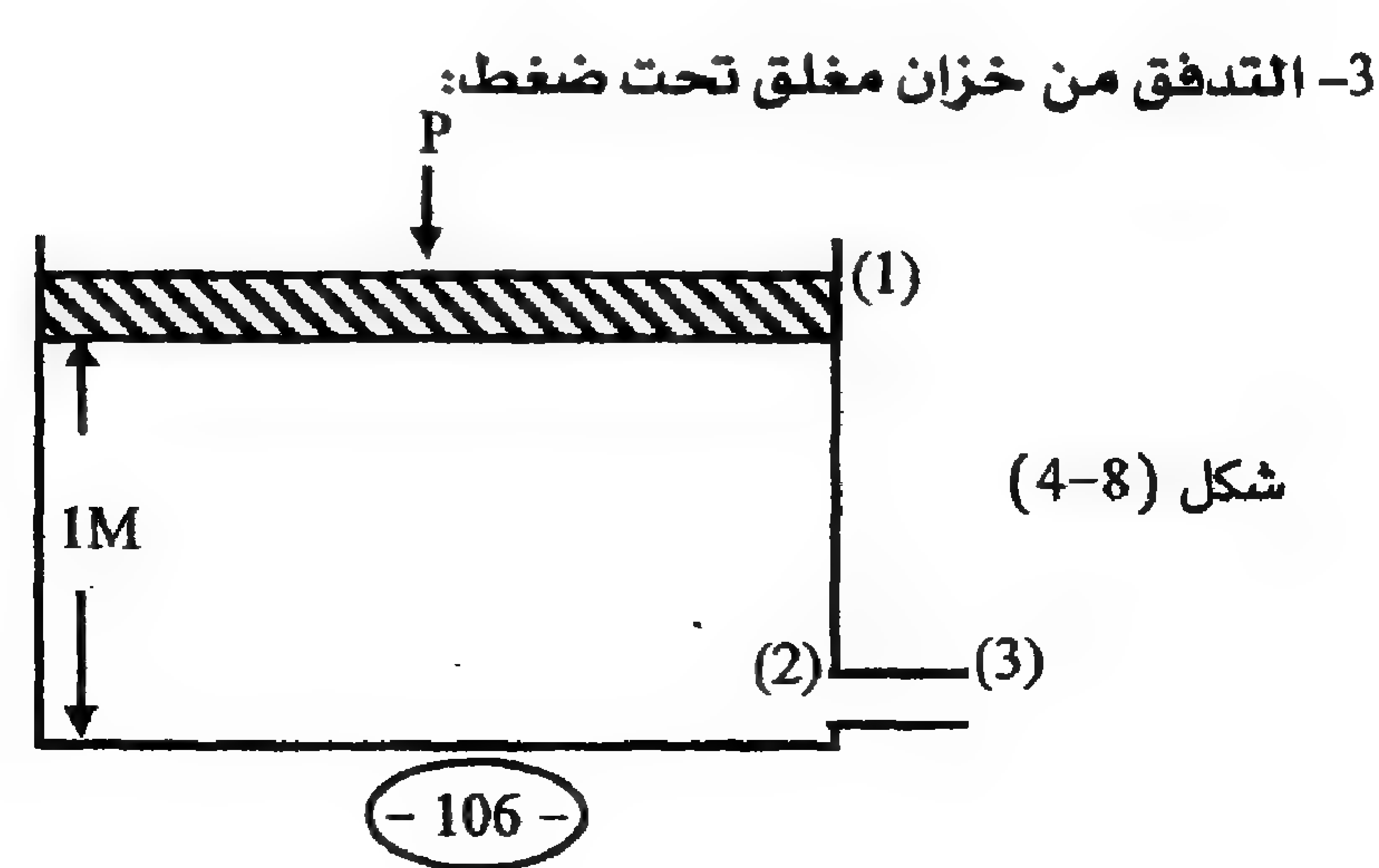
$$h = \frac{V_2^2}{2g} \quad V_2^2 = 2gh$$

$$V_2 = \sqrt{2gh} \quad \text{.......} \quad (4\text{-}14)$$

وهذه تمثل معادلة تورشللي ليصبح معدل التدفق :

$$Q = A_2 . \sqrt{2gh} \quad \text{.......} \quad (4\text{-}15)$$

3- التدفق من خزان مغلق تحت ضغط:



شكل (4-8)

هناك حالات يكون فيها الخزان تحت ضغط إضافي أو وزن جسم إضافي فوق سطح المائع مثل السقف العائم لخزانات البترول أو ضغط بخار المائع نفسه.. الخ وفي هذه الحالة يكون الضغط الكلي فوق النقطة (2) $P + h.\gamma = p_2$.

وعند تطبيق معادلة برنولي:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^{\,2}}{2g} + Z_2 + \frac{P_3^{\,2}}{\gamma} + \frac{V_3^{\,2}}{2g} + Z_3$$

حيث:

$$Z_3 = 0 \quad , \quad Z_1 = h$$

$$P_3 = P_{atm} \quad , \quad V_2 = 0$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{V_2^{\,2}}{2g}$$

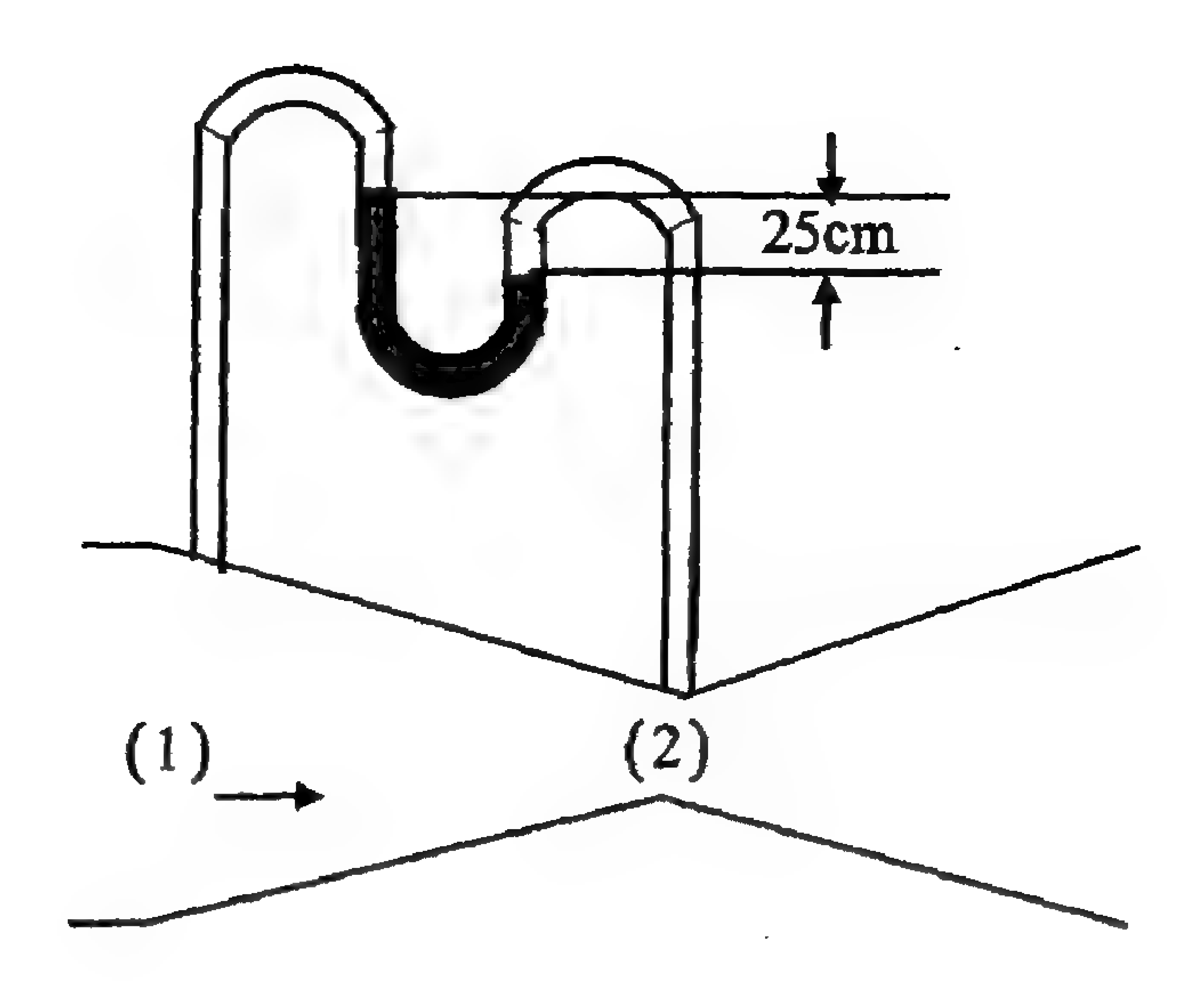
$$V_2^2 = \frac{P_2 - P_{atm}}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2^2 = \frac{P_2 - P_{atm}}{\gamma} .2g$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{\Delta P.\,2g}{\gamma}} \quad \text{..........} \quad (4\text{-}16)$$

مثال 1:

يحتوي أنبوب يسري فيه ماء قطره 300 على منشوري قطره 10cm. وعند وضع مانوميتر فرضي كما في الشكل كانت قراءة المانوميتر 25cm زئبق، أوجد معدل التدفق (L/min) إذا علمت أن الكثافة النسبية للزئبق هي 13.6 وأن الأنبوب في الوضع الأفقي.



الحل:

أثناء مرور المائع داخل الفنشوري ينخفض الضغط عند النقطة (2) ومقدار فارق الضغط هو ما تعطيه قراءة المانوميتر حيث يتحول هذا الفارق في الضغط إلى زيادة في السرعة وبما أن الأنبوب في الوضع الإفقي فإن $Z_1 = Z_2$ ، ويجب إيجاد قيمة فارق الضغط (h) بدلالة عمود الماء، ويتم ذلك باستخدام معادلة المانوميتر الغرفي كما بيناها في الوحدة الثانية.

$$\Delta P = h \ \ y(\delta \quad 1)$$

$$\Delta P = h = Y(S \quad 1)$$

$$= 0.25\ (13.6 - 1) = 3.15\text{m}$$ ماء

ومن ثم نجد مساحة المقطع عند (1و 2):

$$a_1 = \frac{\pi}{4}\ (0.3)^2 = 0.071\ \text{m}^2$$

$$a_2 = \frac{\pi}{4}\ (0.)^2 = 0.00785\ \text{m}^2$$

لإيجاد مقدار التدفق Q نطبق المعادلة:

$$Q = \frac{a_1 a_2\ \sqrt{2gh}}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}}$$

$$= \frac{0.71 \times 0.00785 \sqrt{2 \times 9.81 \times 3.15}}{\sqrt{(0.071)^2 - (0.00785)^2}}$$

$$= 0.059 \quad m^3/s$$

لإيجاد كمية التدفق بوحدة L/min نعلم أن $1m^3 = 1000\ L$

وبالتالي :

$$Q = 1000 \times 60 \times 0.059$$

$$= 3540\ L/min$$

مثال 2:

خط مواسير أفقي ($d = 40cm$) يحمل زيتاً كثافته النسبية 0.9، يتدفق بسرعة مقدارها 20m/s، فإذا كان الضغط في الماسورة 1.5bar وكانت الماسورة تعلو المستوى المرجعي بمقدار 3m، أوجد الطاقة الكلية للزيت مهملاً أي فواقد.

الحل:

$d = 0.4\ m$

$v = 20m/s$

$P = 1.5\ bar$

الطاقة الكلية للمائع هي مجموع جميع أشكال الطاقة التي يحملها المائع من طاقة وضع وطاقة حركية وطاقة ضغط أي أن:

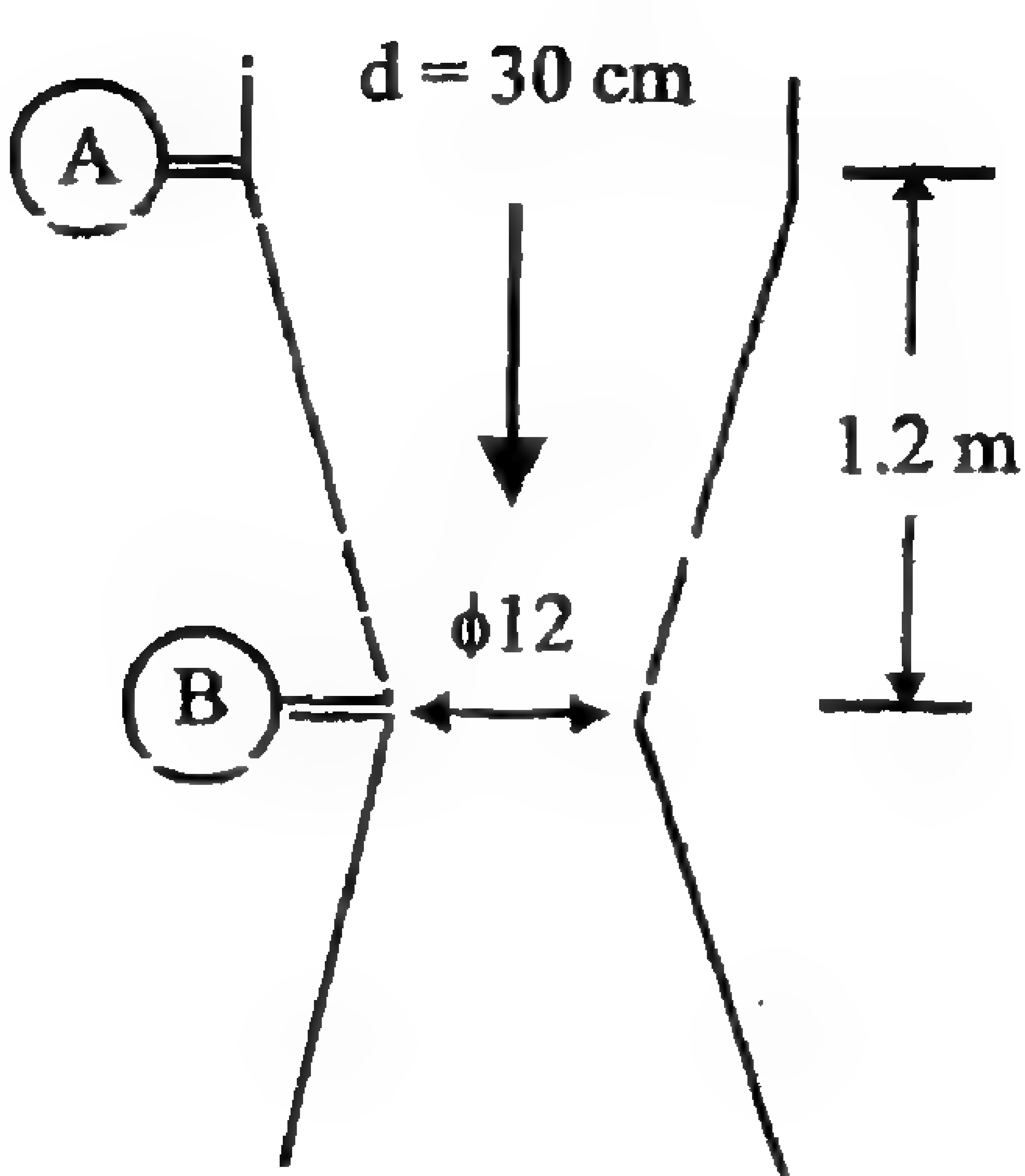
$$E = \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z$$

$$= \frac{1.5 \times 10^5}{0.9 \times 9.81 \times 1000} + \frac{(20)^2}{2 \times 9.81} + 3$$

$$= 40.48\ m$$

مثال3:

يتدفق زيت $(e = 0.9)$ داخل أنبوب كما في الشكل، فإذا كانت فرق قراءة ساعة الضغط بين A و B هو 0.3bar وكان فارق الارتفاع عن المستوى المرجعي هو 1.2m.



أوجد معدل التدفق

الحل:

يجب أولاً تحويل فرق الضغط بين A و B إلى عمود المائع.

$$h = \frac{\Delta P}{\lambda} = \frac{0.3 \times 10^5}{0.9 \times 9.8 \times 10^3} = 3.4m$$

من الشكل :

$$\Delta Z = 1.2m$$

نطبق المعادلة 9-4 لإيجاد سرعة المائع عبر الفنشوري.

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g\left(\Delta P + \Delta Z\right)}{\gamma\left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times (3.4 + 1.2)}{0.9 \times 9.8 \times 10^3 \quad 1 \quad \frac{(0.0113)^2}{(0.07)^2}}}$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4}\,(0.3)^2 = 0.071 m^2$$

ومنه

$$V_2 = 0.12 \text{ m/s}$$

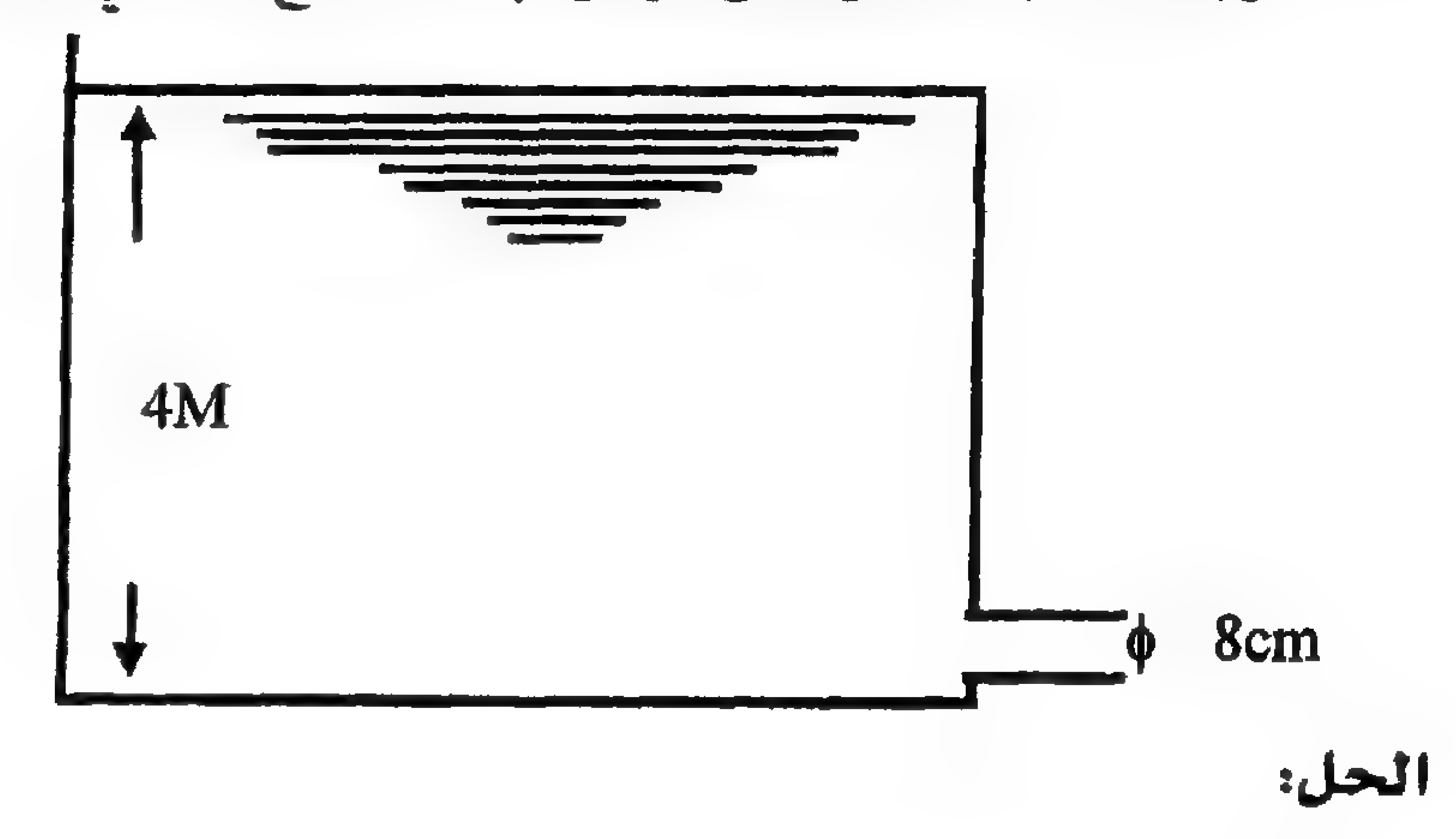
$$A_2 = \frac{\pi}{4}(0.12)^2 = 0.0113 m^2$$

$$Q = A_2 V_2 = 0.0113 \times 0.12$$

$$= 0.00136 \ m^3/s$$

مثال 4 :

يرتفع ماء في خزان إلى 4m فتح في أسفل الخزان صمام لماسورة قطرها 8cm، أوجد معدل التدفق على فرض ثبات ارتفاع الماء في الخزان.



الحل:

بالرجوع للمعادلة 14-4.

$$V_2 = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.81 \times 4} = 8.82 m/s$$

$$Q = AV$$

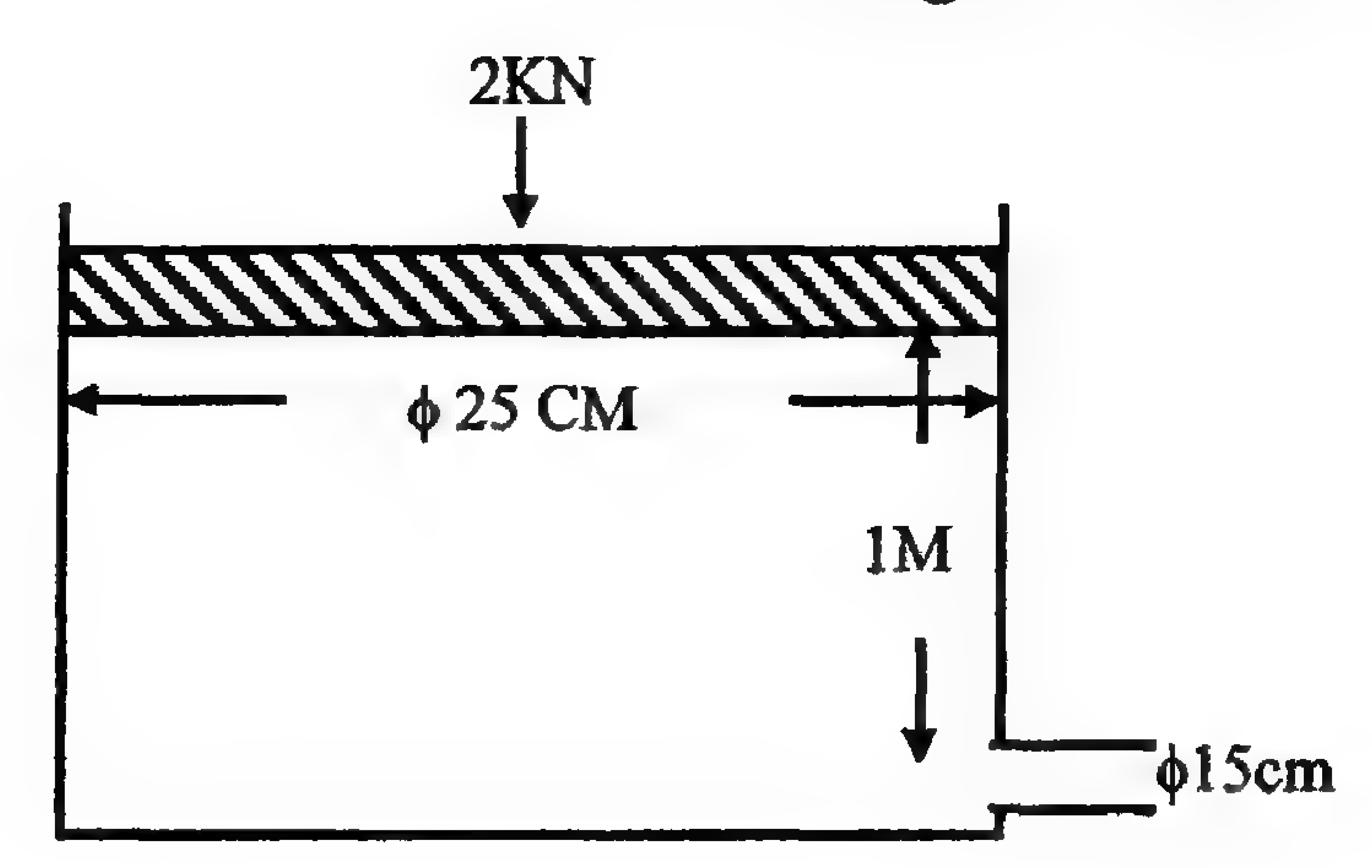
$$= \frac{\pi}{4}(0.08)^2 \times 8.82$$

$$= 0.044 \ m^3/s$$

مثال 5:

يتعرض زيت (e = 0.85) داخل أسطوانة قطرها 25cm إلى قوة من مكبس مقدارها 12KN. أوجد سرعة خروج الزيت من فتحة قطرها 15cm إذا كان

المكبس يعلو فتحة الخروج بمقدار 1m.



الحل:

ضغط المكبس على سطح الزيت هو القوة الواقعة على وحدة المساحة :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{12 \times 10^3}{\pi/4\,(0.25)^2}$$

الضغط الكلي فوق فتحة الخروج = ضغط عمود الترتيب + ضغط المكبس

$$= \frac{12 \times 10^3}{\frac{\pi}{4} \times (0.25)^2} + 0.85 \times 9.81 \times 10^3 \times 1$$

$$= 252.83 \text{ KPa}$$

بما أن الزيت سيخرج إلى الضغط الجوي فيكون فارق الضغط (ΔP) هو الضغط فوق الفتحة – الضغط الجوي.

$$\Delta P = 252.83 \times 10^3 - 101.3 \times 10^3 = 151.53 \times 10^3 \text{ KPa}$$

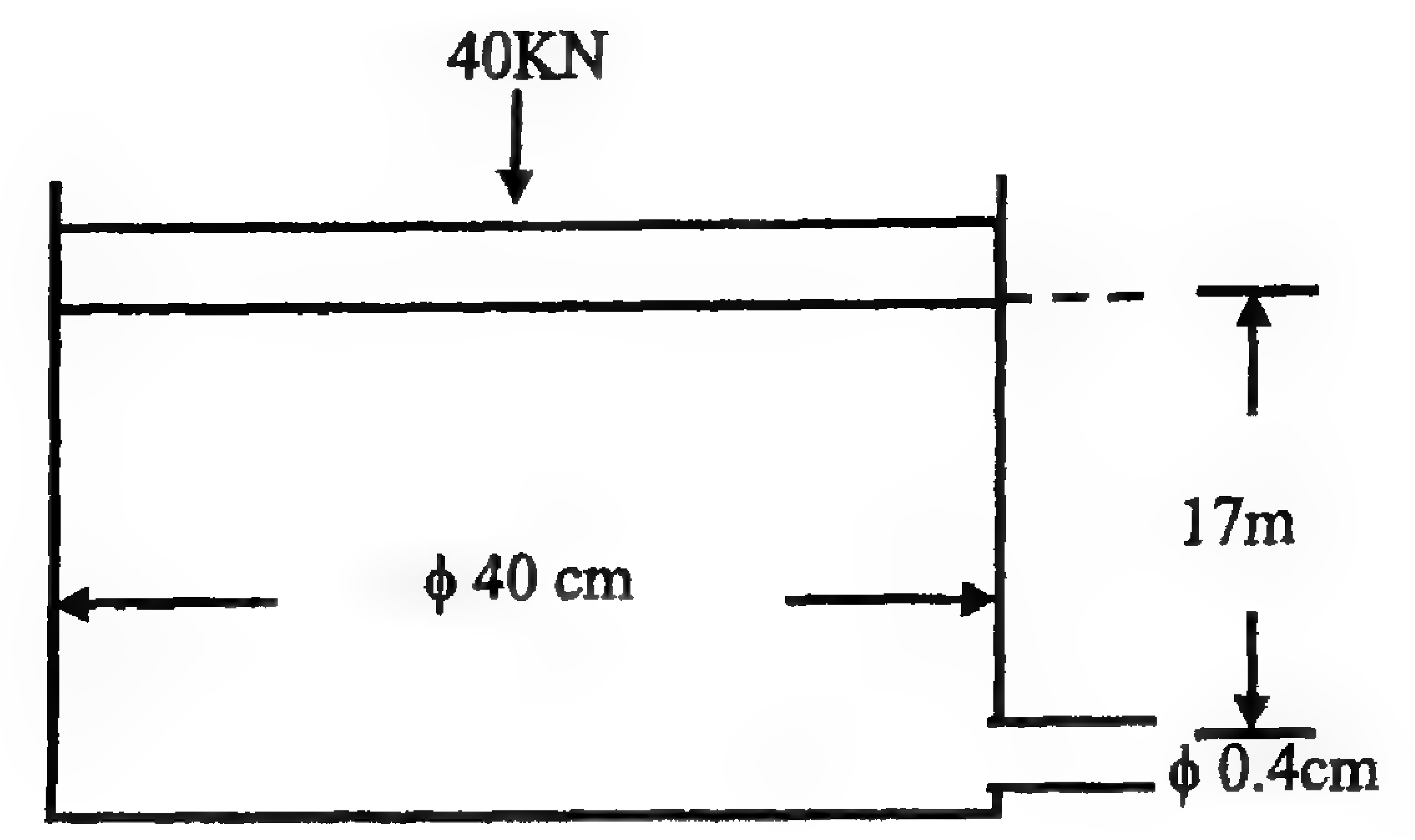
$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\gamma} = \frac{2 \times 151.53 \times 10^3}{0.85 \times 9.81 \times 10^3}} \quad 6m/s$$

مثال 6:

خزان وقود قطره 40m وارتفاعه 17m مليء بالزيت الخام ($e = 0.9$) وله

سقف عائم وزنه 40KN، في أسفل الخزان فتحة قطرها 40cm أوجد معدل تدفق الزيت من الفتحة على فرض ثبات ارتفاع الزيت في الخزان.

الحل:



يؤثر السقف على الزيت بوزنه بضغط مقدار $\frac{\text{الوزن}}{\text{مساحة السطح}}$

$$A = \frac{\pi}{4}(40)^2 = 1256 m^2$$

$$\text{ضغط السقف} = \frac{40 \times 10^3}{1256} = 32.0\ N/m^2$$

ضغط عمود الزيت:

$$H = 0.9 \times 17 \times 9.81 \times 1000$$

ضغط السقف + ضغط عمود الزيت − الضغط الجوي = ΔP.

$$= 32 N/m^2 + 15.01\ KPa - 101.3\ KPa$$

$$= 48.832\ KPa$$

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{0.9 \times 9.81 \times 10^3}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 48.83 \times 10^3}{0.9 \times 9.81 \times 10^3}} = \sqrt{\frac{97.66}{8.829}}$$

$$\cong 3.4 \text{ m/s}$$

$$Q = A.\, V = \frac{\pi}{4}(0.40)^2 \times 3.4$$

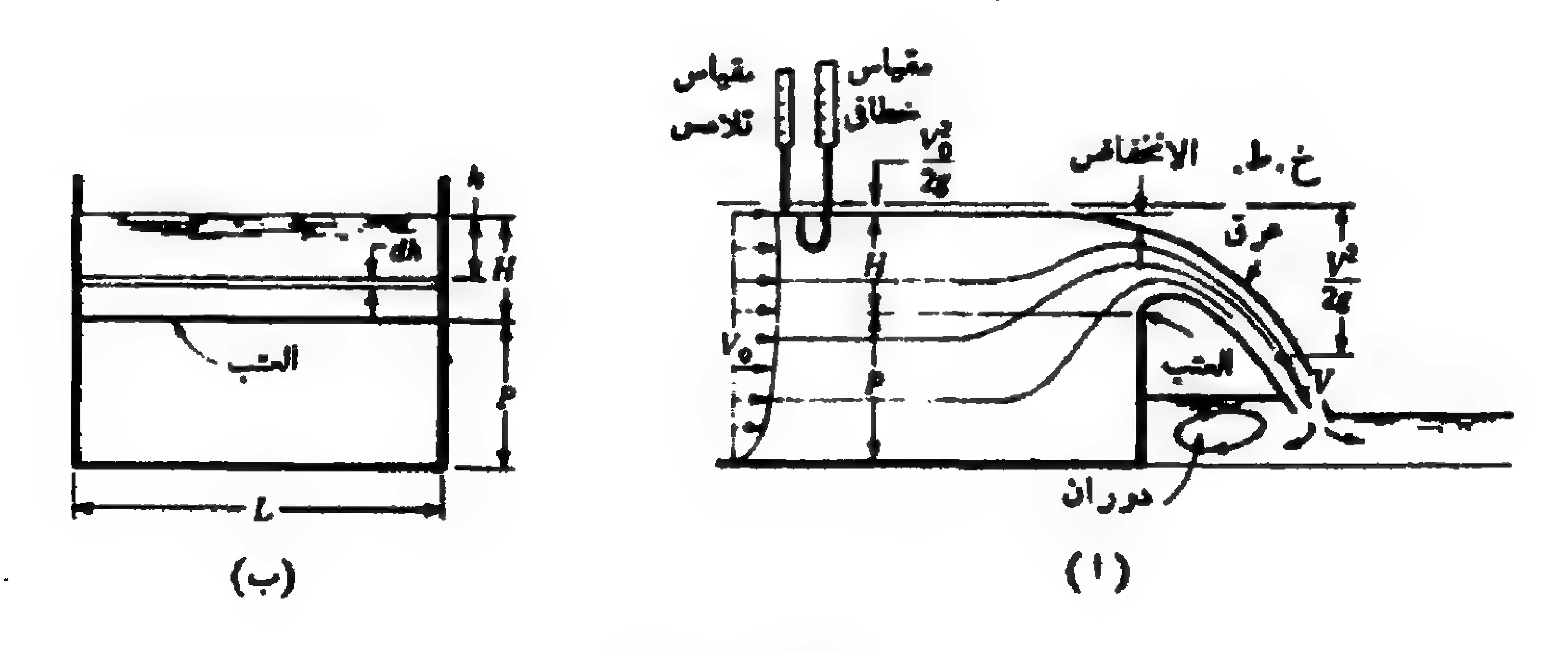
$$= 0.427 \text{ m}^3/\text{s}$$

4-6 الهدارات :

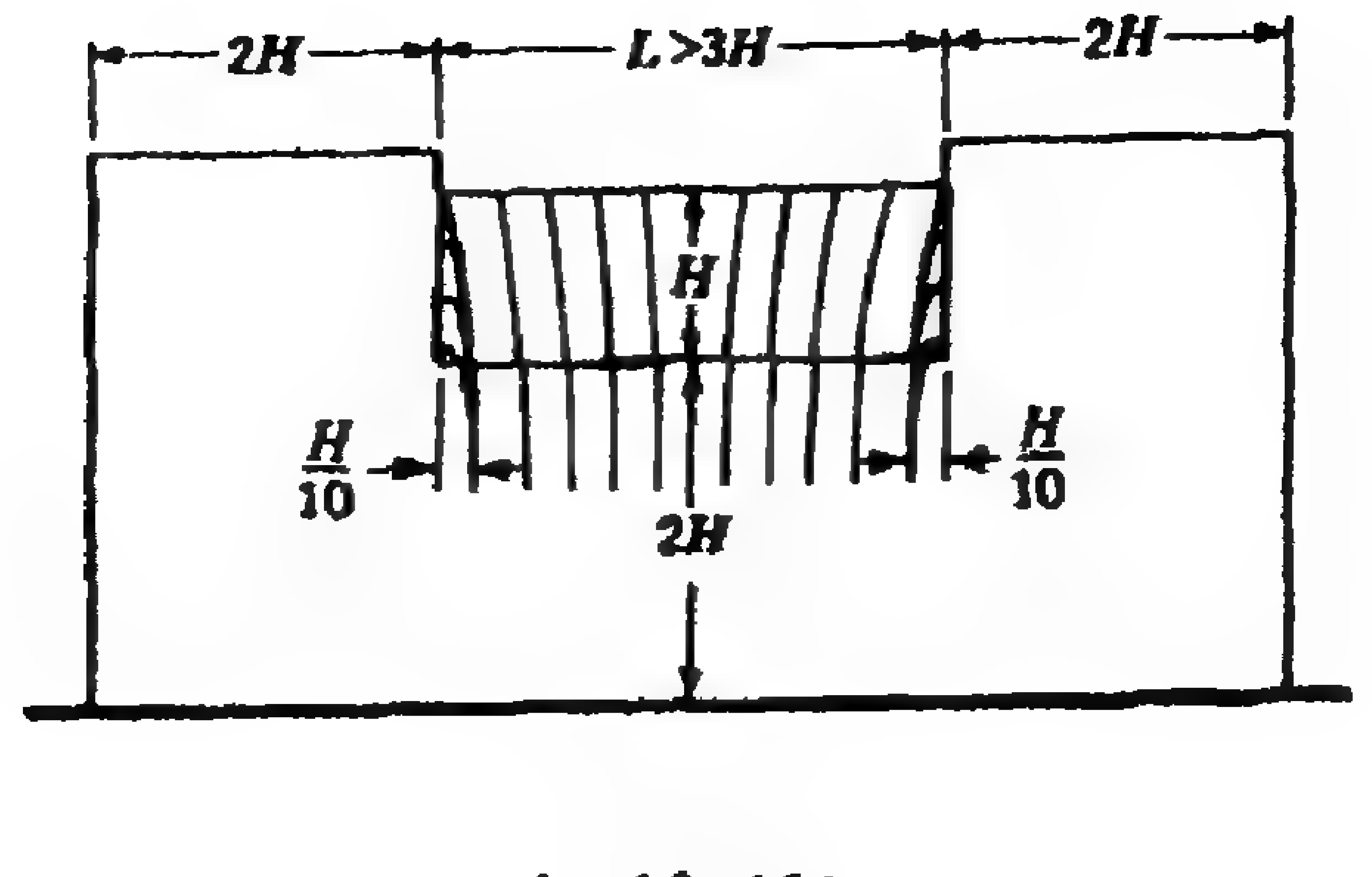
وهي فتحات أو بوابات تستخدم لقياس معدل تدفق الماء عبر القنوات المكشوفة، كما في الشكل (9-4)، ويمكن للماء أن يكون في مستوى أعلى من ارتفاع الهدار أو اقل من ارتفاع الهدار ويكون ارتفاع الماء (H) فوق العتبة (حافة الهدار) هو الارتفاع المأخوذ بعين الاعتبار عند حساب Q.

حافة العتب يجب أ ن تكون حادة وكذلك الجوانب الرأسية بحيث تسمح للماء بالابتعاد عن الجوانب باتجاه الداخل.

الهدارات المستخدمة عادة إما مستطيلة أو مثلثة.



شكل 9- 4



شكل 10- 4

1- الهدار المستطيل:

عندما يكون طول الهدار المستطيل (L) أقل من عرض القناة كما في الشكل، فإن تأثير التقلص الجانبي سوف يؤدي إلى تقليل العرض الفعال للهدار بمقدار 0.1H ، من كل جانب وبالتالي يمكن لمثل هذا الهدار حساب كمية التدفق باستخدام علاقة التدفق للهدار المستطيل وهي:

$$Q = C_d \; 2/3 \sqrt{2g} \; LH^{3/2} \quad \text{(4-17)}$$

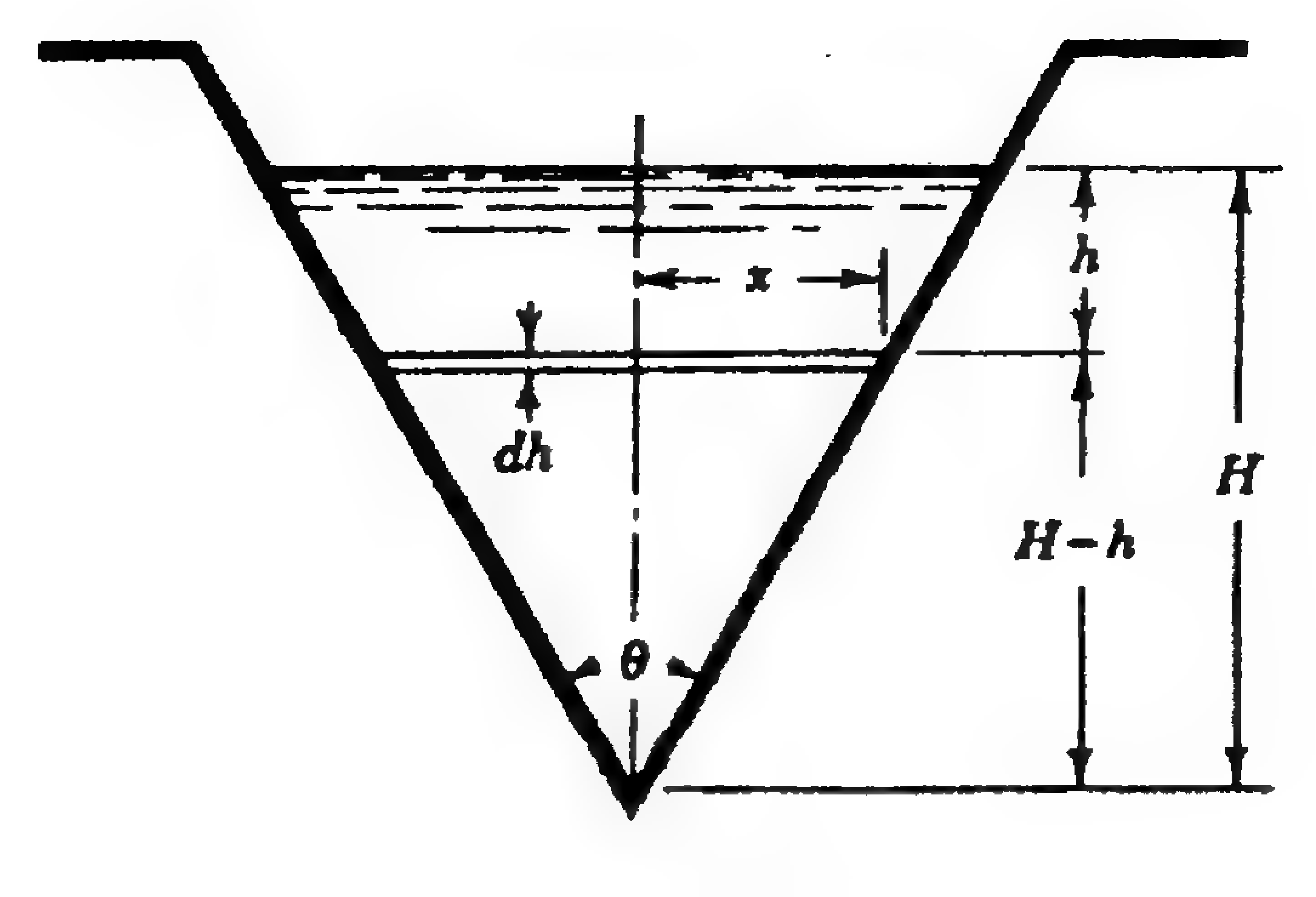
حيث :

C_d: معامل الصرف الذي يأخذ بالاعتبار نقصان طول الهدار L كما ذكرنا سابقاً.

H : ارتفاع الماء في الهدار.

L : طول الهدار.

يستخدم أحياناً هدار سيبولتي على شكل شبه منحرف حيث يميل جانبي الهدار بنسبة واحد أفقي إلى أربعة عمودي و ذلك ليعطي مساحة إضافية للتعويض بدل أثر نقصان طول الهدار الفعلي.



شكل 11-4

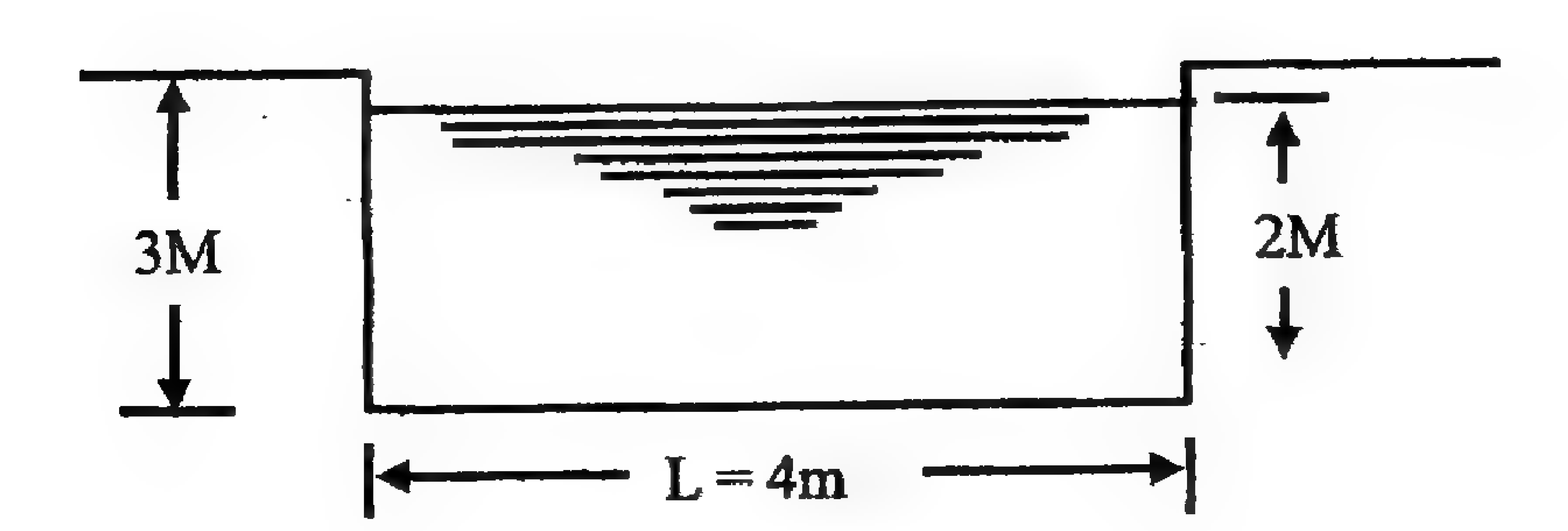
2- الهدار المثلث على شكل حرف V:

وهو كما يبين الشكل (11-4) يستخدم لكميات التدفق القليلة نسبياً وعادة تكون زاوية الرأس ما بين 10° و 90° ونادراً ما تكون أكبر من ذلك. ولإيجاد التدفق عبر الهدار المثلث تستخدم العلاقة التالية:

$$Q = C_d \frac{8}{15} \tan\theta \sqrt{2g}\, H^{\frac{5}{2}} \quad \text{.......... (4-18)}$$

مثال 7:

يتدفق ماء من هدار مستطيل (L = 4m) وارتفاع 3m، فإذا كان ارتفاع الماء في الهدار 2m وكان $C_d = 0.6$ أوجد معدل التدفق.



الحل:

ما دام ارتفاع الماء يختلف عن ارتفاع الهدار فيما بينهما هنا هو ارتفاع الماء وليس ارتفاع الهدار، وبالتالي $H = 2m$.

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

$$= 0.6 \times \frac{2}{3} \sqrt{2 \times 9.81} \cdot (2)^{3/2}$$

$$= 0.6 \times \frac{2}{3} \sqrt{19.62} \times 2 \times 1.71$$

$$= 4.32 \ m^3/s$$

ملاحظة:

$$H^{3/2} = H \times \sqrt{H}$$

$$H^{5/2} = H^2 \times \sqrt{H}$$

4-7 معاملات التعريف:

يمكن مما سبق الاستنتاج أن التدفق الحقيقي أقل من التدفق النظري نظراً لوجود احتكاك بين المائع وحواف المخرج مما يؤدي إلى انحسار المائع أثناء الخروج. وهناك كذلك اختلافا في السرعة بين الحقيقي والنظري مع كون السرعة الحقيقية أقل من السرعة النظرية. مما يجعل من الضروري إبراز معاملات التعريف الثالثة وهي كما يلي:

1- معامل السرعة C_9:

وهو النسبة بين السرعة الحقيقة والسرعة النظرية.

$$C_9 = \frac{\text{السرعة الحقيقية}}{\text{السرعة النظرية}}$$

$$= \frac{V}{\sqrt{2gH}} \quad \text{...} \quad (4\text{-}19)$$

إذن:

$$V = C_v . \sqrt{2gH}$$

يعزى الفرق بين السرعة الحقيقية والسرعة النظرية إلى الاحتكاك بين المائع وحواف المخرج ويكون الاحتكاك أقل ما يمكن للحواف الحادة. وتتراوح قيم C_ϑ بين فتحة وأخرى تبعاً لشكل وحجم الفتحة، والقيمة المتوسطة له هي حوالي 0.97.

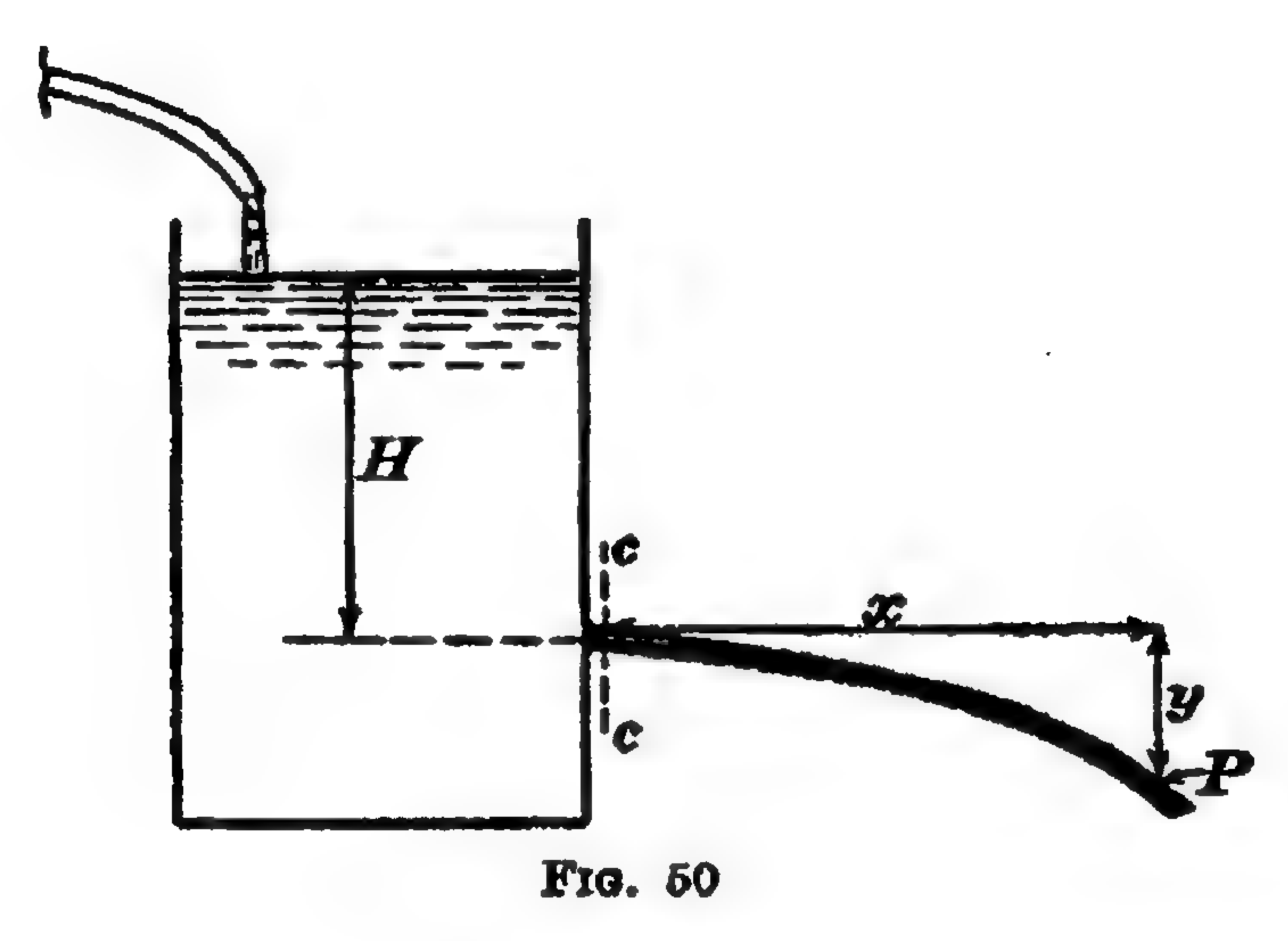


FIG. 50

شكل (4-12)

ولإيجاد قيمة C_ϑ تأمل الشكل 12 -4.

حيث:

H : ارتفاع الماء فوق مركز الفتحة، يمتلك الماء المنبعث من الفوهة سرعة أفقية V ولكنها تخضع لتسارع الجاذبية الأرضية بتسارع إلى الأسفل مقداره (g)، تأمل جسيم من الماء عند النقطة (P) حيث:

x : المسافة الأفقية التي يقطعها الجسيم (المركبة الأفقية).

y : المسافة العمودية (المركبة العمودية).

أو $V^2 t^2 = x^2$

$$\frac{x^2}{V^2} = t^2$$

ومنه: $\frac{2y}{g} = t^2$

$$\frac{x^2}{V^2} = \frac{2y}{g}$$

$$V^2 = \sqrt{\frac{x^2\ g}{2y}}$$

$$C_V = \frac{}{\sqrt{2gH}} \qquad C_V\sqrt{2gH}$$

ومنه:

$$C_V = \sqrt{\frac{x^2}{4gH}} \quad \text{.......................................} \quad (4\text{-}20)$$

يمكن بذلك إيجاد C_g عن طريق قياس المسافة الأفقية x والمسافة العمودية y عند قيمة معروفة لعمود السائل H، ويمكن كذلك إيجاد C_g عن طريق قياس السرعة الحقيقة باستخدام أنبوب بينوت الذي سبق ذكره.

2- معامل التخصر C_c :

يمكن ملاحظة النقص في مساحة مقطع المائع الخارج من الفوهات والفتحات والهدارات بشكل واضح بعد الخرج مباشرة مما يعني أن المساحة الحقيقية تكون عادة أقل من المساحة النظرية للمخرج والنسبة بينهما تسمى معامل التخصر C_c.

3- معامل التدفق C_d :

بما أن $Q = A.V$ ويما أنه يوجد معامل لكل من السرعة والمساحة فإن

معالم التدفق سيكون موجوداً وهو:

$$C_V = \frac{\text{السرعة الحقيقية}}{\text{السرعة النظرية}}$$

$$= \frac{\text{التدفق المقاس}}{\sqrt{2gH}\ A.} = \frac{C_g \sqrt{2gH}\ .\ C_c.\ A}{\sqrt{2gH}\ A.}$$

ومنه :

$$C_d = C_v \times C_d \quad \text{...} \quad (4\text{-}21)$$

وتتراوح قيمة C_d بين 0.64 – 0.61

مثال 10:

في تجربة لإيجاد معامل السرعة لفتحة حادة كانت قيم y, x هي (0.03, 1m) على التوالي وكان ارتفاع عمود الماء في الخزان 25cm أوجد قيمة C_g.

الشكل (21– 4)

الحل:

$$C_g = \sqrt{\frac{x^2}{4gH}}$$

$$= \sqrt{\frac{1^2}{4 \times 0.25 \times (1.03)^2}} = 0.97$$

ويبين الشكل 21–4 بعض أنواع الفوهات ومعاملات التصريف لكل منها:

لقد تم استعراض مادة هذه الوحدة دون الأخذ بعين الاعتبار وجود فواقد للطاقة بسبب الاحتكاك وغيره، وفي حال تتم ذكر قواعد الطاقة أو معاملات

التصريف فيجب أخذها بعين الاعتبار وسيتم الحديث عن هذه الأمور وغيرها في الوحدة التالية.

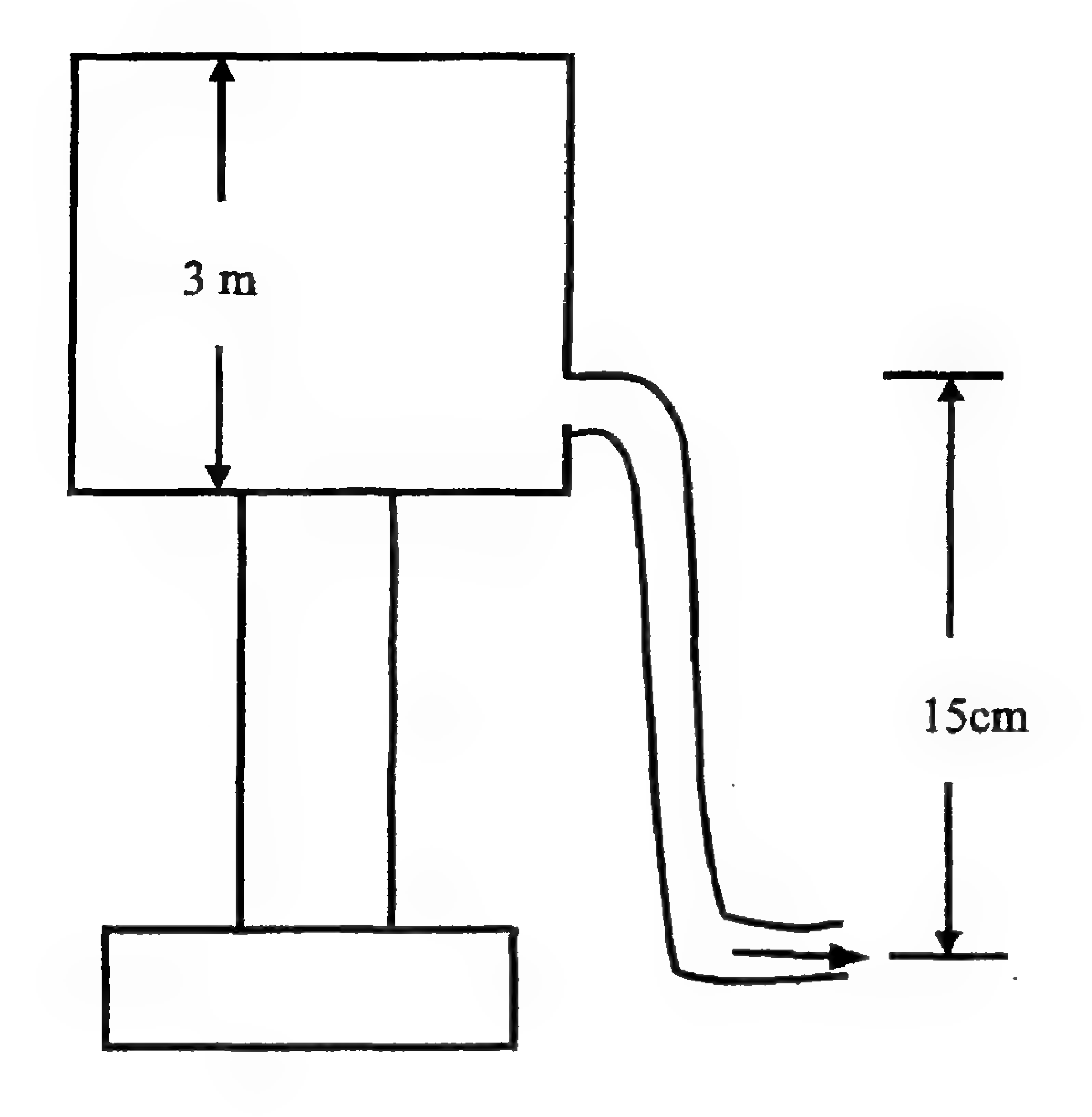
4-8 تطبيقات حسابية:

4-1 ينساب مائع في ماسورة ($e = 1.12$) بمعدل 600 L/ s وعند نقطة ما كان قطر الماسورة 0.8m وضغط المائع $295\ KN/m^2$ أوجد الضغط عند نقطة ثانية حيث القطر 0.4m إذا كانت النقطة الثانية 1.3m تحت مستوى النقطة الأولى، مهملاً الفواقد.

4-2 يتم ضخ مائع ($\rho = 1.2$) من النقطة A حيث قطر الماسورة 0.45m والضغط 320KPa إلى النقطة B حيث قطر الماسورة 0.2m، فإذا كانت A تعلو B بمقدار 1m ومعدل التدفق هو $0.45m^3/s$، أوجد قدرة المضخة اللازمة مهملاً الفواقد.

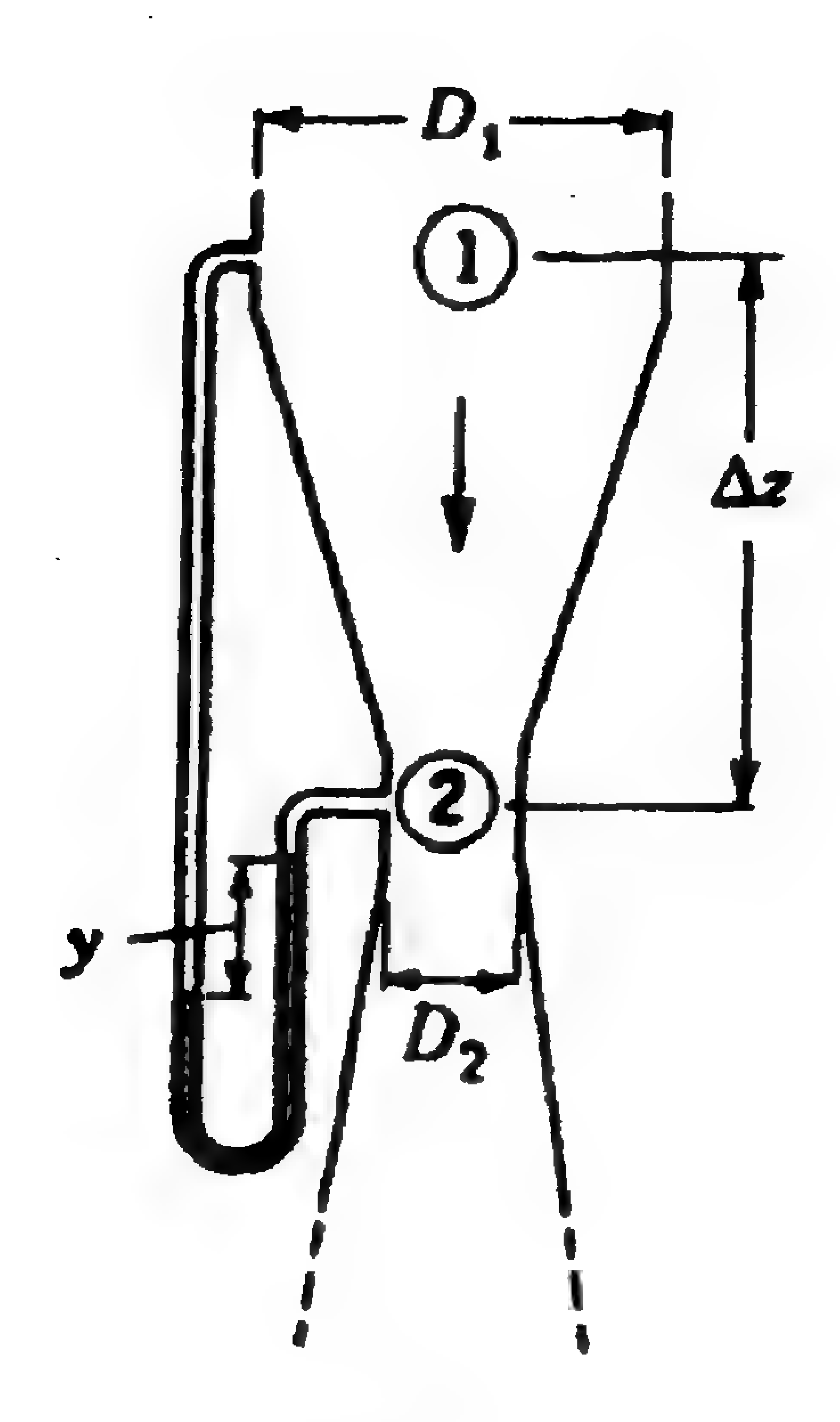
4-3. ينحدر مائع ($\rho = 1.12$) من A حيث السرعة داخل الماسورة 6.4m/s والضغط $310KN/m^2$ وقطر الماسورة 50cm إلى توربين 2mأدنى من A، ويغادر المائع بضغط مقداره 120KPa وسرعة 1.5m/s، فإذا كان قطر الماسورة عند المخرج 0.3m ومعدل التدفق $0.5m^3/s$ أوجد القدرة الناتجة عن التوربين بوحدة kw وبوحدة الحصان الميكافيلي.

4-10 في الخزان المبين في الشكل أوجد معدل التدفق إذا كان قطر الماسورة 8cm ومعامل التدفق 0.7.



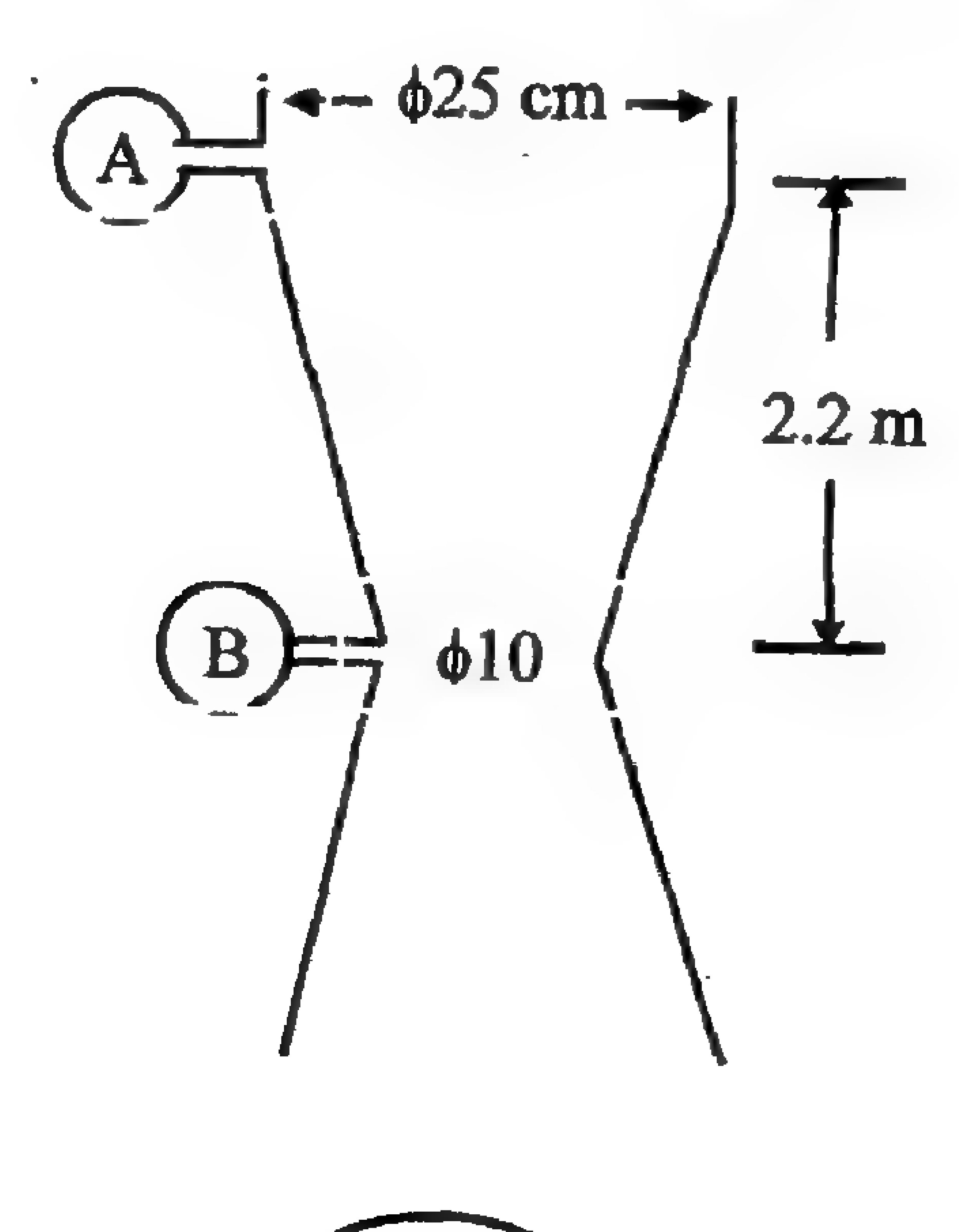
4-11 يتعرض زيت (e = 0.9) داخل أسطوانة قطرها 30cm إلى قوة مكبس مقدارها 15.5KN، أوجد سرعة خروج الزيت من فتحة قطرها 16cm إذا كان المكبس يعلو الفتحة بمقدار 1.5m ومعامل السرعة هو $C_{\theta} = 0.97$.

4-12 في الشكل المبين أوجد معدل انسياب الماء في الفنشوري إذا كان $D_1 = 80cm$، $D_2 = 40cm$، $\Delta Z = 200cm$، $Y = 15cm$.



مسألة 12- 40

4-4. يحتوي أنبوب قطره 40cm على فنثوري (ϕ = 12cm) فإذا كانت قراءة المانوميتر الفرقي تشير إلى 23cm زئبق (e = 13.6) أوجد معدل تدفق الماء إذا كان الأنبوب أفقيا.



4-5. أوجد الطاقة الكلية للماء في ماسورة أفقية قطرها 300cm إذا كانت سرعة الماء 17m/s والضغط 180KPa والماسورة تعلو الخط المرجعي بمقدار 5m.

4-6. يتدفق مائع (ρ= 0.87) في فنثوري كما في الشكل فإذا كانت قراءة الساعة A أعلى من قراءة الساعة B بمقدار 0.3bar أوجد معدل التدفق.

4-7. يندفع ماء أفقياً من فتحة تحت تأثير عمود ماء مقداره 26cm أوجد معامل السرعة للفتحة إذا كانت المسافة الأفقية هي 48cm والمسافة العمودية 20cm.

4-8. أوجد معدل التدفق عبر هدار مستطيل عرضه 30m إذا كان ارتفاع الماء 2m فوق الهدار و$C_d = 0.62$.

4-9. أوجد معدل التدفق لهدار مثلث زاوية الرأس فيه 98° إذا كان معامل التدفق 0.63 وارتفاع الماء 45cm.

الوحدة الخامسة

جريان الموائع في الأنابيب

الوحدة الخامسة

جريان الموائع في الأنابيب

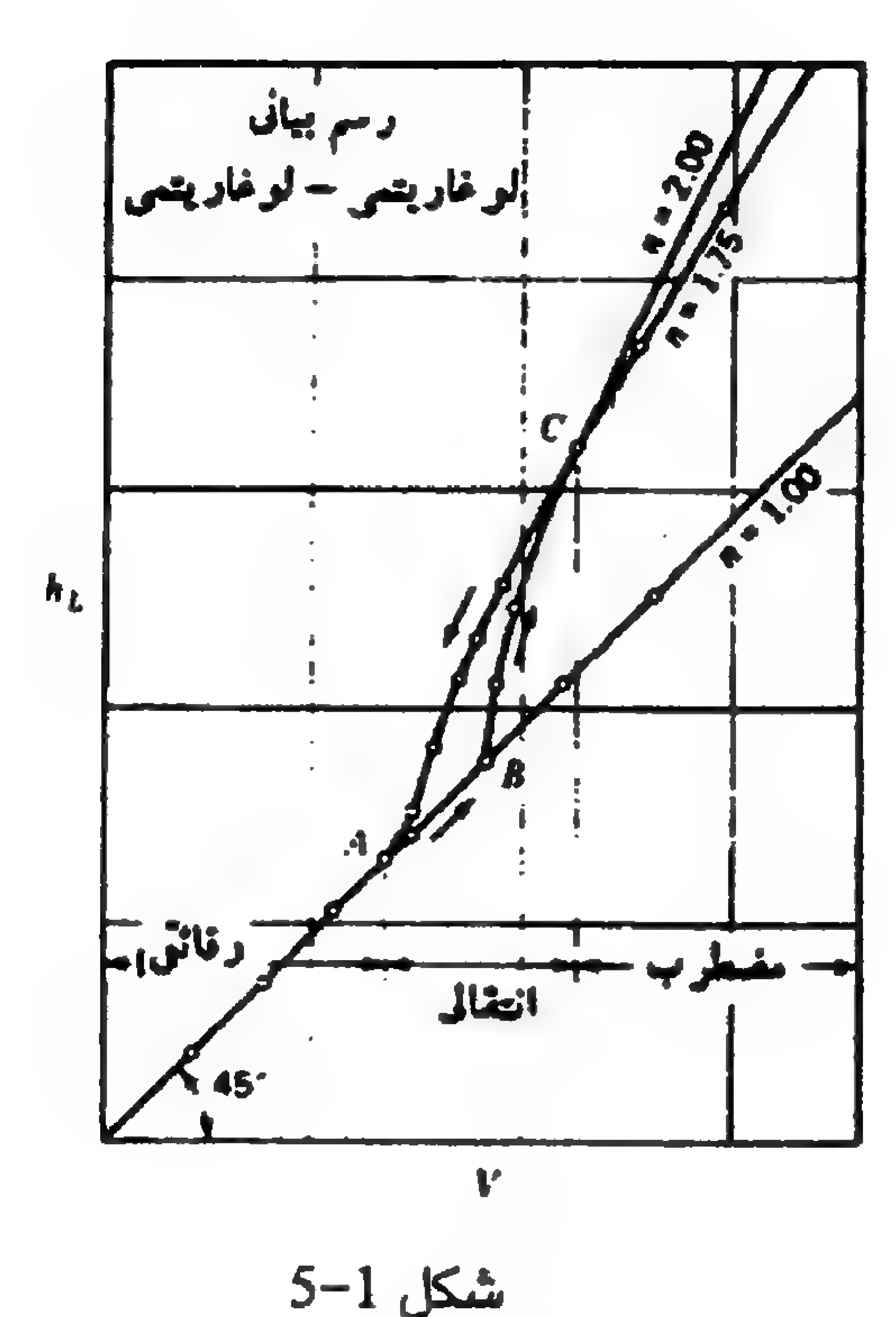
سيتم في هذه الوحدة مناقشة بعض أشكال الانسياب وسوف تقتصر الدراسة على الموائع الغير قابلة للانضغاط أي السوائل بصورة عامة حيث يفترض ثبات درجة الحرارة أي غياب التأثيرات الديناميكية الحرارية وكذلك ثابت كثافة الموائع. سيتم كذلك مناقشة فواقد الطاقة في الأنابيب الملساء والخشنة وكذلك فواقد الطاقة الناجمة عن تغير المقاطع والوصلات في الأنابيب ومعاملان الاحتكاك والمعادلات المختلفة المتعلقة فواقد الطاقة مع حل بعض الأمثلة المتنوعة للحالات التي تتم دراستها.

5-1 الانسياب الرقائقي (الطبقي) أو الصفائحي:

كما درسنا في الوحدة الثالثة، يتحرك المائع في الجريان الطبقي على شكل رقائق متناهية السماكة وتنزلق هذه الرقائق فوق بعضها البعض دون أن تختلط وأن جسيمات المائع تتحرك في خطوط مستقيمة أو مسارات أو خطوط سريان محددة وملحوظة راجع الشكل 2-3 وتلعب لزوجة المائع دوراً هاماً في هذا النوع من الجريان.

لقد وضحنا سابقاً أن جريان المائع الحقيقي يختلف عن جريان المائع المثالي في نواحٍ عدة منها أن المائع المثالي يعتبر عديم اللزوجة وبالتالي تكون سرعته متساوية في جميع نقاط المقطع العرضي بينما تختلف سرعة جريان المائع الحقيقي (اللزج) من نقطة إلى أخرى في نفس المقطع، حيث تكون أعلى ما يمكن في وسط الماسورة وتقل تدريجيا كلما ابتعدنا عن المركز إلى أن تصل إلى الصفر عند جدران الأنبوب. ينتج عن ذلك أن وجود الاحتكاك بين طبقات المائع اللزج وكذلك الاحتكاك بين المائع وجدران الأنبوب أي أن هناك طاقة مفقودة أثناء

الجريان. ويبدو هذا على شكل فقدان في سمت الضغط نتيجة للاحتكاك. وإذا ما تم قياس السمت على مدى طول محدد لماسورة منتظمة عند قيم مختلفة للسرعة فسوف يتبين أنه طالما كانت السرعة منخفضة بحيث تحقق جرياناً طبقياً فإن سمت الضغط المفقود بسبب الاحتكاك سوف يتناسب تناسبا مباشراً مع السرعة كما في الشكل 1-5



شكل 1-5

رسم بياني لوغاريتمي - لوغاريتمي للانسياب في ماسورة منتظمة

ولكن مع زيادة السرعة، وعند نقطة محددة (B) تسمى النقطة الحرجة العليا حيث يتضح بالمشاهدة المباشرة خلال أنبوب شفاف أن الجريان قد بدأ يتحول إلى الجرايان المضطرب، وهناك يصبح زيادة فجائية في معدل تغير فقد السمت (معدل الطاقة المفقودة). ويتضح ذلك بزيادة ميلان المنحنى.

من الملاحظ في هذا المنحنى أن الميل أصبح عالياً (يتراوح من 1.75 ← 2). وأن فقدان الطاقة قد أصبح يتناسب مع مربع السرعة (V^n) بدل من السرعة (V) عندما كان الجريان طبقياً. حيث (n) هي مقدار ميلان المنحنى وتتراوح بين (1.75 إلى 2). لقد تم رسم النقاط المبينة على المنحنى مباشرة من خلال تجارب وقياسات رينولد حيث يمكن أن يرتفع الرقم (n) أكثر من (2) وإذا خفضت السرعة تدريجيا بعد ذلك فإن المنحنى لا يعود بنفس الاتجاه بل يصل إلى النقطة Aوهي النقطة الحرجة السفلي. السرعة ليست العامل الوحيد الذي يحدد ما إذا كان الانسياب طبقيا أو مضطرباً ولكن المقياس هو رقم يتولد للجريان الذي تم شرحه سابقا.

5-2 رقم رينولد:

عند انسياب مائع في مجرى مملوء كاملاً فإن الجاذبية لا تؤثر على نمط (نوع) الانسياب. ومن الواضح أن الخاصية الشعرية لا تكون ذات أهمية من الناحية العملية، وبالتالي فإن القوى المؤثرة هي قوى القصور الذاتي، احتكاك المائع كنتيجة للزوجة. عند الأخذ بعين الاعتبار النسبة بين قوى القصور الذاتي وقوى اللزوجة فإن الناتج يسمى رقم رينولد نسبة إلى العالم لاوسبورن ريتولدز الذي قام بتجارب سبق ذكر إحداها وقد نشرت عام 1882 ولكن العالم اللورد رايلي هو الذي أظهر نظرية التشابه الديناميكي بعد ذلك الوقت بعشر سنوات. والنسبة بين هاتين القوتين هي:

$$R_e = \frac{F_I}{F_v} = \frac{D^2 V^2 e}{DV.\mu}$$

$$R_e = \frac{D.V.e}{\mu} \quad \text{.......... (5-1)}$$

D: قطر الأنبوب.

V: سرعة الجريان.

e: الكثافة النسبية.

و (5-2).. $f=\frac{64}{R_e}$

μ: معامل اللزوجة الديناميكية.

نعلم أن υ = μ/e وهي معامل اللزوجة الكينماكيكية وبالتالي يمكن كتابة العلاقة كما يلي:

$$R_e = \frac{V.D}{\upsilon} \qquad \text{.........................} \qquad (5\text{-}2)$$

رقم ريتولد الحرج:

القيمة العليا لرقم ريتولد الحرج عند النقطة B يصعب تحديدها ولكن القيمة الأكثر تحديداً هي (2000) وتعبر هذه القيمة لرقم ريتولد القيمة الفاصلة بين الانسياب الطبقي والانسياب المضطرب.

وتتغير قيمة رقم ريتولد الحرج بشكل طفيف وقيمتها تكون أكبر من 2000 في الماسورة التي يتناقص مقطعها، وتكون قيمتها أقل من 2000 إذا كان مقطع الماسورة يتزايد وهي شبه ثابتة في الماسورة المستديرة المقطع. معنى ذلك أنه عندما يتزايد قطر الأنبوب يصبح الجريان أقرب إلى المضطرب عند سرعات أدنى والعكس صحيح بتأثر الجريان كذلك بخشونة أو نعومة سطح الماسورة وينخفض رقم ريتولد الحرج (أي يصبح الجريان أقرب إلى المضطرب) كلما ازدادت الخشونة حيث يمكن أن ينخفض رقم ريتولد الحرج إلى (1000) للمواسير الزائدة الخشونة. وللمواسير الاعتيادية يمكن اعتماد الرقم (2000) على أنه رقم ريتولد الحرج.

5-3 الاحتكاك في المواسير المستديرة المقطع:

يفقد المائع الغير قابل للانضغاط جزءاً من طاقته أثناء الجريان داخل المواسير، ويعبر عن الطاقة المفقودة عادة بدلالة عمود المائع h_f أو h_L والمعادلة التالية تبين كمية الطاقة المفقودة بالاحتكاك:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} (m) \quad \text{.......} \quad (5\text{-}3)$$

حيث:

f: معامل الاحتكاك وهو لا بعدي وهو دالة في رقم رينولد.

L: طول الماسورة موضع الدراسة.

D: قطر الماسورة.

V: سرعة الجريان.

تسمى المعادلة أعلاه معادلة دارسي وتستخدم لحساب سمت الطاقة المفقودة في المواسير الدائرية المقطع المملوءة تماما بمائع غير قابل للانضغاط. السمت المفقود هو سمت الضغط أي أن ضغط المائع يهبط أثناء الجريان بسبب الاحتكاك. ومن الجدير بالملاحظة أنه قد تم التعبر عن فقد سمت الضغط بدلالة سمت السرعة $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$

يتعرض المائع أثناء الجريان إلى إجهاد قص وبسبب مقاومة المائع لهذا القص فإنه يفقد جزءاً من طاقته والمعادلة هي:

$$h_L = \tau_o \cdot \frac{2L}{r_o \cdot \gamma} \quad \text{.......} \quad (5.4)$$

حيث:

τ: إجهاد القص.

r_0: نصف قطر الماسورة.

بالمثل يمكن إيجاد h_L لأي جسيم اسطواني (أي جزء اسطواني من المائع) ذو نصف قطر r بحيث r أقل من r_0.

$$h_L = \tau_0 \, 2L / \tau . \gamma \quad \text{.......} \quad (5.2)$$

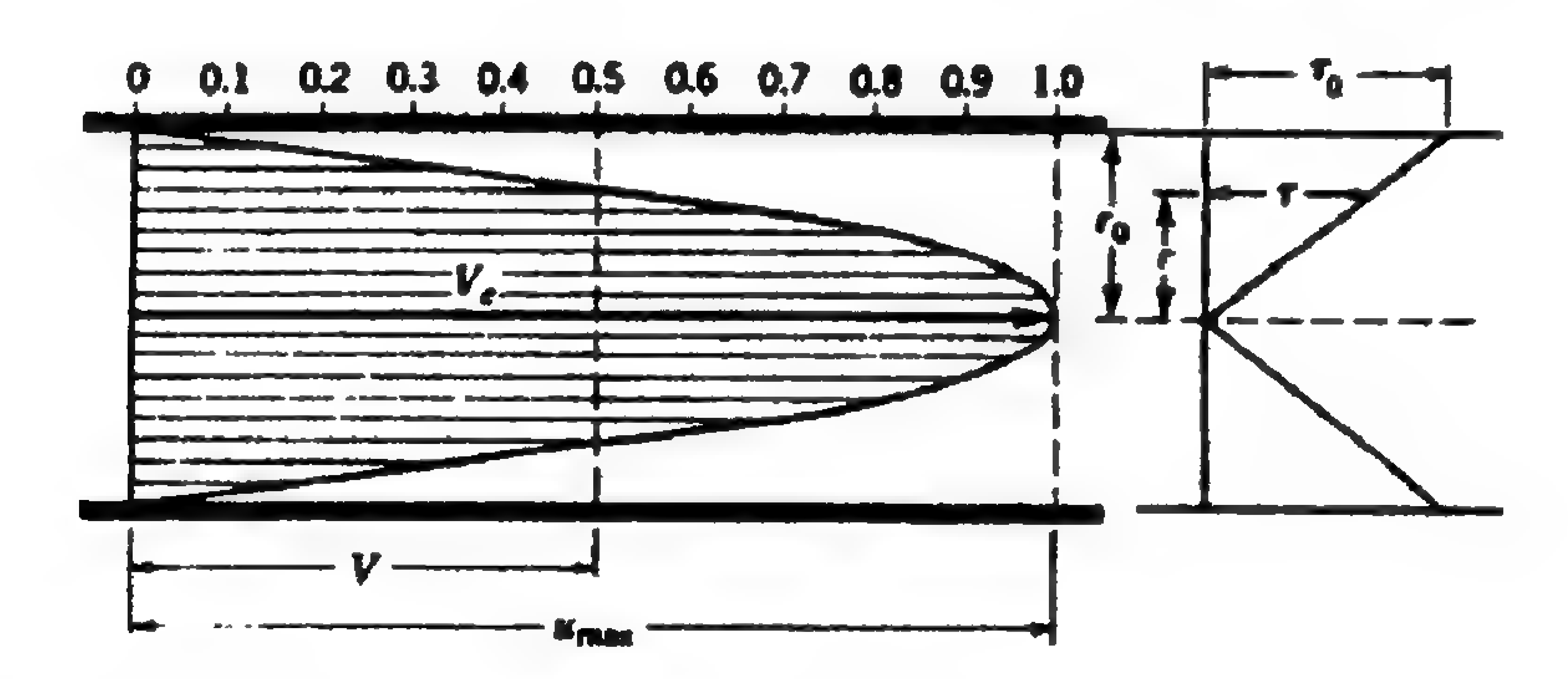
كما في الشكل (2-5) يمكن من خلال هذه العلاقات إيجاد إجهاد القص عند أي نقطة في المقطع (r) كما يلي:

$$\tau = \tau_0 = \frac{r}{r_o} \quad \text{.......................................} \quad (5\text{-}6)$$

شكل 5-2

فإذا كانت $r_0 = r$ فإن معنى هذا أن إجهاد القص يساوي صفر عند مركز الماسورة ويزداد خطياً كما في الشكل (5-3) مع نصف القطر حتى يصل إلى أقصى قيمة له عند جدران الماسورة.

يمكن من الشكل أعلاه أيضاً ملاحظة أن منطقة أقصى سرعة للمائع هي نفس منطقة إجهاد قص صفري.



شكل 5-3 شكل توزيع السرعات في انسياب رقائق وتوزيع إجهاد القص

بإجراء المقارنة بين المعادلتين (5-3) و (5-4) نجد أن:

$$\tau_0 = \frac{f}{4}\gamma \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{f}{8}\frac{\gamma}{g} \cdot V^2$$

$$\tau_0 = \frac{f}{8} e. \cdot V^2 \quad \text{.......................................} \quad (5\text{-}7)$$

والعلاقة التالية تستخدم لإيجاد السرعة عند أي مقطع كما في الشكل (5-2) .

$$V = V_{max} [1 - \frac{r}{r_o}^2] \qquad \text{......(5-8)}$$

المعادلة الأخرى للطاقة المفقودة

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{f}{D} \cdot \frac{\rho V^2}{2} \qquad \text{......(5-9)}$$

حيث

$$\Delta P = \rho gh$$

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma}$$

مثال 1 :

أوجد مقدار بالضغط المفقود في أنبوب طوله 20m وقطره 8 mm يمر فيه مائع لزوجته الديناميكية (μ= 0.016 kg/m.s) وكثافته النوعية (ρ= 0.85) إذا كانت سرعته (V = 3m/s) أوجد كذلك فقد السمت الناتج عن الاحتكاك.

الحل:

V = 3 m/s μ = 0.016 kg/m.s

d = 8 mm L = 20 m

من المعادلة (5-1)

$$Re = \frac{e.v.d}{\mu}$$

$$= \frac{0.85 \times 1000 \times 3 \times 0.008}{0.016}$$

$$= 1275$$

بما أن رقم رينولد أقل من 2000 لذا يمكننا استخدام علاقات الجريان الطبقي

$$f=\frac{64}{Re}=\frac{64}{1275}=0.05$$

$$\Delta P=\frac{fl}{d}\times\frac{\rho v^2}{2}$$

$$=\frac{0.05\times 20}{0.008}\times\frac{0.85\times 1000}{2}\times 3$$

$$= 159.375 \text{ KPa}$$

$$h_f=\frac{P}{\gamma}=\frac{159.375\times 10^3}{0.85\times 10^3\times 4.81}=19.66\ m$$

مثال 2 :

يسري مائع $(\rho= 0.83)$ و (3×10^{-3}) μ في أنبوب قطره 10 cm بسرعة مقدارها 0.03 m/s فإذا كان طول الأنبوب 200 m أوجد .

1- مقدار فاقد السمت بوحدة KPa.

2- معدل التدفق.

الحل:

يجب أولاً تحديد نوع الجريان، ويتم ذلك من خلال إيجاد رقم رينولد.

$$R_e=\frac{e.v.d}{\mu}=\frac{0.83\times 1000\times 0.03\times 0.13}{3\times 10^{3}}$$

$$= 830$$

بما أن رقم رينولد أقل من 2000 إذن الجريان طبقي ولكي يتم إيجاد فاقد الضغط يجب إيجاد معامل الاحتكاك.

$$f=\frac{64}{R_e}=\frac{64}{830}=0.077$$

$$\Delta P=\frac{f}{d}.\frac{L}{2}.eV^2$$

$$=\frac{0.077}{0.1}\times\frac{200}{2}\times 0.85\times 10^{3}\times(0.03)^{2}$$

$$= 66.14\ KPa$$

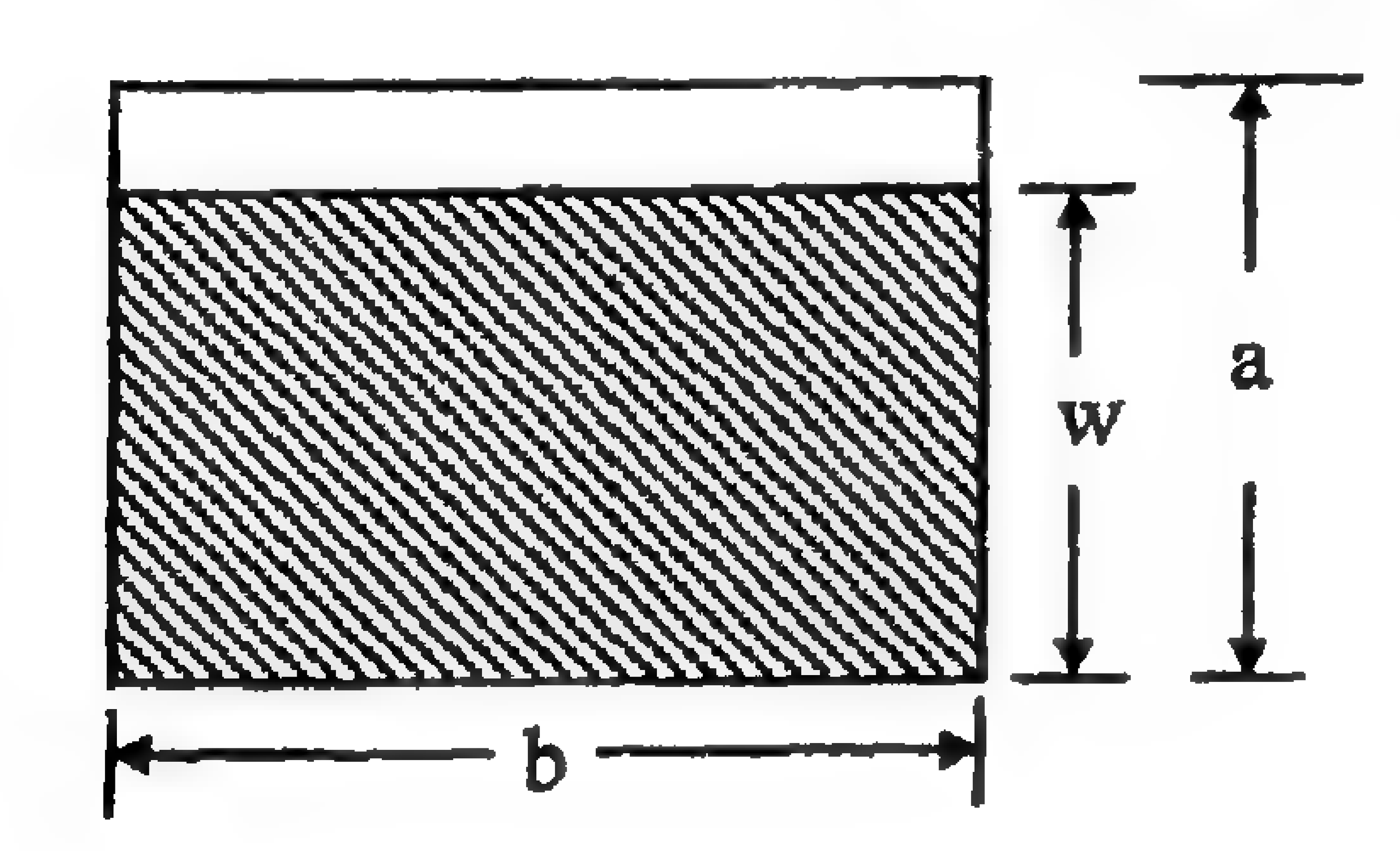
ولإيجاد فاقد السمت h_f

$$hf=\frac{\Delta P}{\gamma}=\frac{66.14\times 10^{3}}{0.83\times 10^{3}\times 9.81}$$

$$= 8.12m$$

الجريان الطبقي في المجاري المستطيلة:

عند دراسة الجريان في القنوات الغير دائرية المقطع يصبح من الضروري إيجاد القطر المكافئ للمقطع المستطيل والذي يسمى القطر الهيدروليكي (D_h)، وفي حالة ما لم تكن القناة مملوءة بالكامل فيجب استخدام ارتفاع الماء في القناة بدلا من ارتفاع القناة كاملا. وذلك بالطريقة التالية:



يبين الشكل -5 قناة عرضها (b) وارتفاعها (a) وارتفاع الماء فيها (w) أو كما يسمى الارتفاع المبلل فيكون المحيط المبلل من القناة (P) هو:

$$P = 2b + 2w$$

المساحة المبللة $A = b\times w$

فيكون القطر الهيدروليكي

$$D_h=\frac{4A}{P} \quad \text{......(5-9)}$$

ويكون رقم رينولد

$$R_e=\frac{e.v.D_h}{\mu} \quad \text{......(5-10)}$$

$$= v.v.\ D_h \quad \text{......(5-11)}$$

حيث ν : اللزوجة الكينماتيكية

ويبين الجدول (5-1) قيماً مختلفة لحاصل ضرب f_R مقابل a/b

$\frac{\text{ارتفاع القناة}}{\text{عرض القناة}}$

جدول (5-1)

a/b	1/20	1/10	1/5	1/6	1/4	1/2	3/4	1
$R_e Dh^* f$	89.91	84.68	82.34	78.81	72.19	62.19	57.89	56.91

مثال 3 :

أوجد مقدار فقد الضغط في مجرى مستطيل ارتفاعه 10 cm وعرضه 20 cm وطوله 200 m عندما يسري فيه مائع $\mu = 0.0$ kg/m.s و ($\rho = 0.85$) بسرعة مقدارها 0.1 m/s إذا كان القناة مملوءة بالكامل.

الحل:

نجد أولاً القطر الهيدروليكي المكافئ D_h

a = 10cm

b = 20cm

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

$$= \frac{4 \times 0.1\ 0.2}{2(0.1+0.2)}$$

$$= 4/30 m$$

من الجدول (-5) نجد أن f.R الذي يقابل $a/b = \frac{10}{20}$ هو 62.19.

نجد الآن رقم رينولد من المعادلة.

$$R = \frac{e.v.D_h}{\mu}$$

$$= \frac{0.85 \times 100 \times 0.1 \times 4/30}{0.016}$$

$$= 710$$

إذن

$$f=\frac{62.19}{710}=0.0875$$

$$\Delta P=\frac{L}{D}\times f\times\frac{e.v^2}{2}$$

$$\Delta P=\frac{200}{4/30}\times\frac{0.0875\times0.85\times(0.1)^2}{2}$$

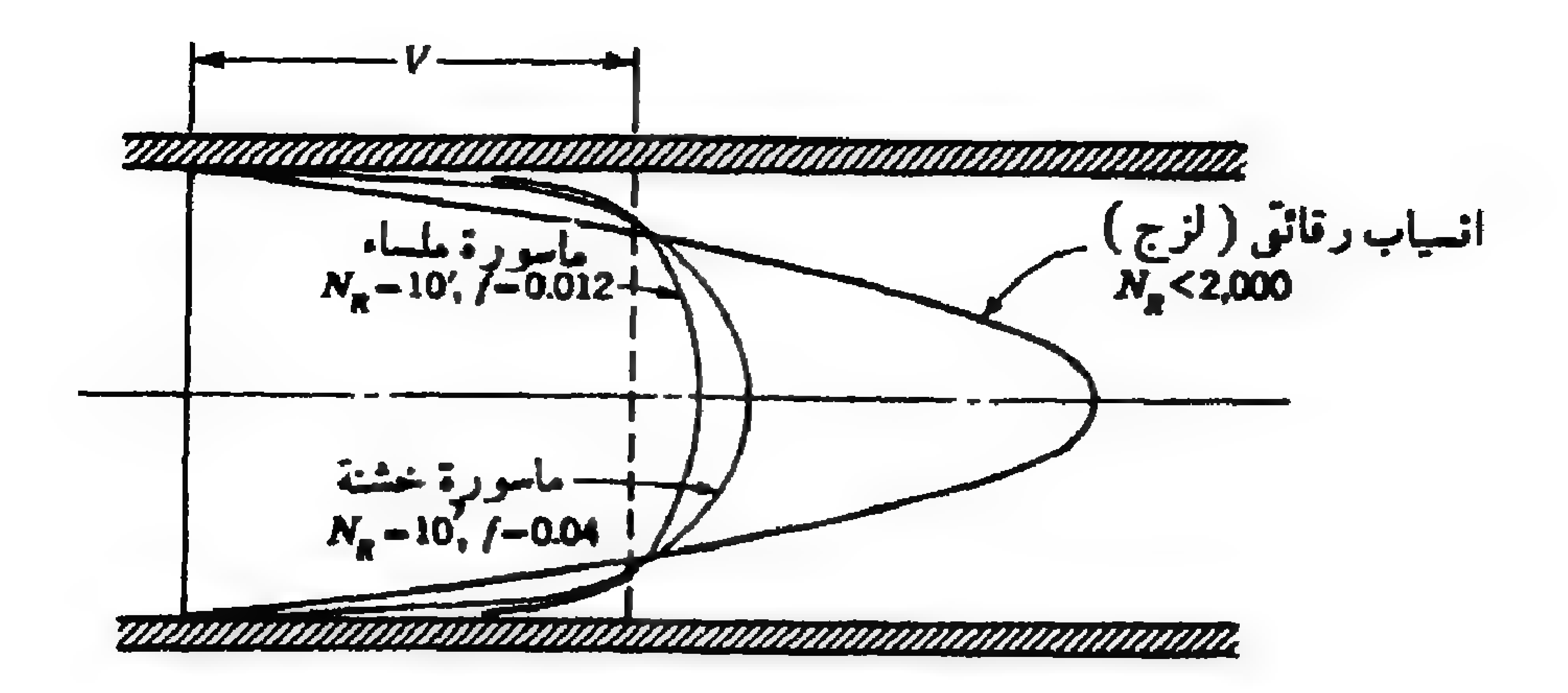
$$=55.78\,KPa$$

5-4 الانسياب المضطرب في المواسير المستديرة:

بينا في الوحدة السابقة أن جسيمات المائع تتحرك في خطوط مستقيمة في الانسياب الطبقي، بينما تتحرك هذه الجسيمات في مسارات عشوائية أثناء الانسياب المضطرب.

يتولد أثناء الانسياب الطبقي إجهادات قص بين طبقات المائع بسبب اختلاف السرعة بين هذه الطبقات، فالطبقات أو الجسيمات البطيئة تحاول إبطاء حركة الجسيمات السريعة، وكذلك تحاول الطبقات الأسرع تسريع الطبقات البطيئة. أما في الانسياب المضطرب فإن سرعة الجسيمات الموضعية تتفاوت بالمقدار والاتجاه، ونتيجة لذلك يتولد جمع من الدوامان الموضعية الصغيرة بسبب تولد القص اللزج بين الجسميات المتجاورة. تنمو هذه الدوامات وتتلاشى داخل بعضها البعض وبذلك تختلط الجسيمات بشكل مستمر مع بعضها البعض وبالتالي انتقال في كمية التحرك.

توزيع السرعة للانسياب الطبقي يختلف بشكل واضح عن توزيع السرعة للانسياب المضطرب كما يبين ذلك الشكل (5-5)



شكل (5-5) أشكال توزيع السرعات لمعدلات انسياب متساوية

حيث يكون توزيع السرعات للانسياب المضطرب أكثر استواءاً في منطقة المحور ولكنه يكون حاد الميلان عند الجدران. كما يلاحظ أيضاً أن شكل توزيع سرعة السريان المضطرب للماسورة الملساء يكون مستوياً أكثر منه للماسورة الخشنة في منطقة المحور (أي أنه غير حاد) وعلى العكس من ذلك فإن شكل توزيع السرعة اللانسياب الرقائقي (الطبقي) لا يعتمد على خشونة الماسورة.

لاحظ أنه عندما يكون الانسياب طبقياً فإن شكل توزيع السرعة يكون "قطع مكافئ" وأن السرعة المركزية تكون ضعف السرعة المتوسطة.

لقد لاحظنا وجود اختلاف في توزيع السرعة للمواسير الخشنة والمواسير الملساء، ولكن لسوء الحظ لا توجد هناك طريقة عملية لتحديد أو قياس خشونة المواسير التجارية. لقد تم إجراء تجارب على مواسير ذات خشونة صناعية حيث تم طلاء المواسير بحبيبات رمل ذات خشونة متساوية (يتم فصل حبيبات الرمل بواسطة المنخل)، حيث تم طلاء أحجام مختلفة من المواسير بحبيبات ذات أحجام مختلفة ذات أقطار معقولة ومنتظمة وقد أمكن إثبات أن الاحتكاك لا يعتمد فقط على حجم الحبيبات ولكن كذلك يعتمد على تباعدها وتوزيعها.

ويمكن تمثيل أقطار حبيبات الرمل بـ E والتي تعرف باسم الخشونة

المطلقة، ويبين التحليل البُعدي للانسياب في المواسير أن معامل الاحتكاك (f) للمواسير الملساء يكون دالة في رقم رينولد وقد اتضح أن:

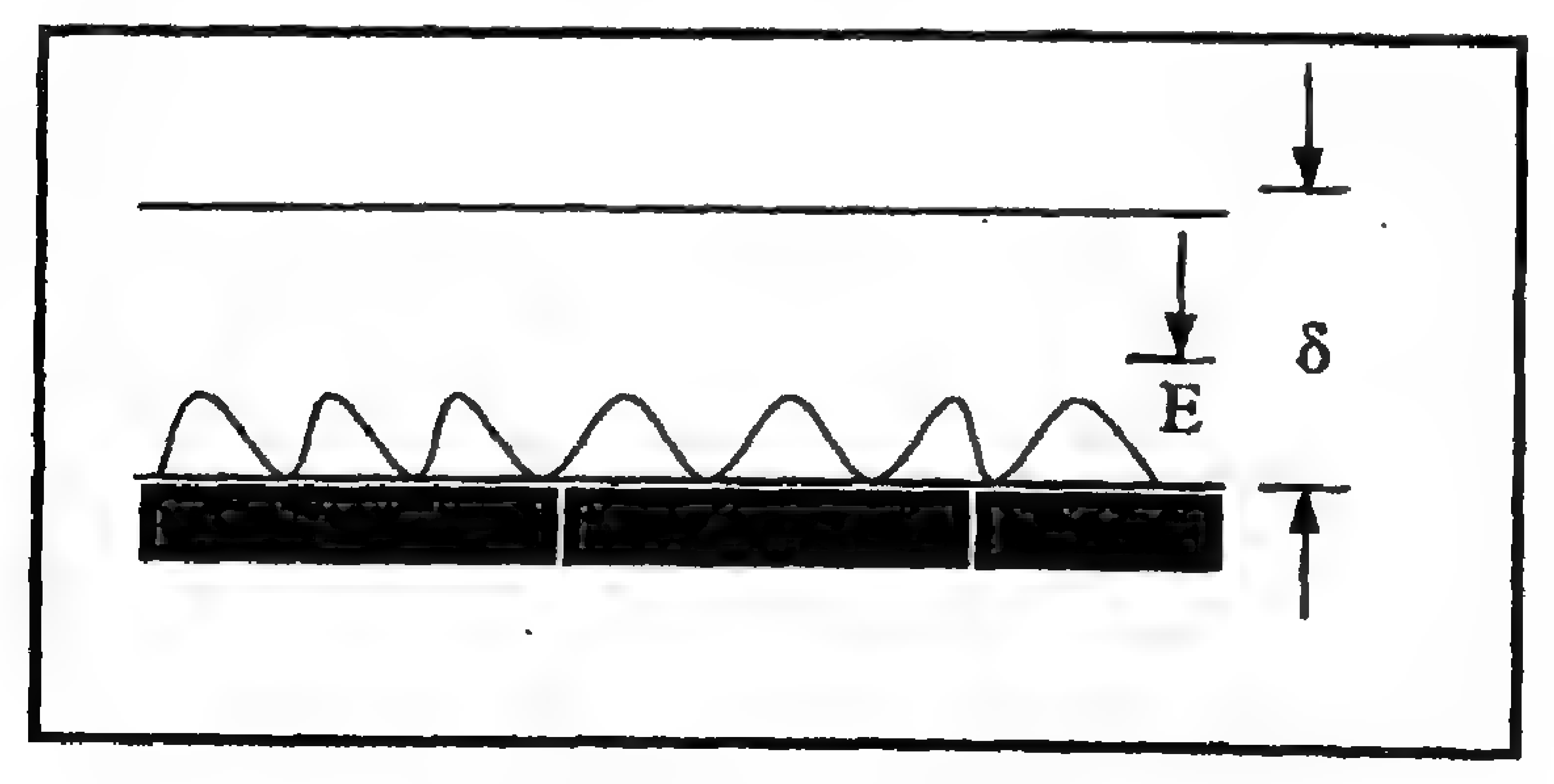
$$f = \phi (R_e . E/D)$$

أي أن معامل الاحتكاك هو دالة في رقم رينولد والخشونة المطلقة، حيث يعرف $\left(\frac{E}{D}\right)$ بأنه الخشونة النسبية.يقودنا هذا إلى توضيح مفهوم السطح الأملس والسطح الخش هيدروليكياً.

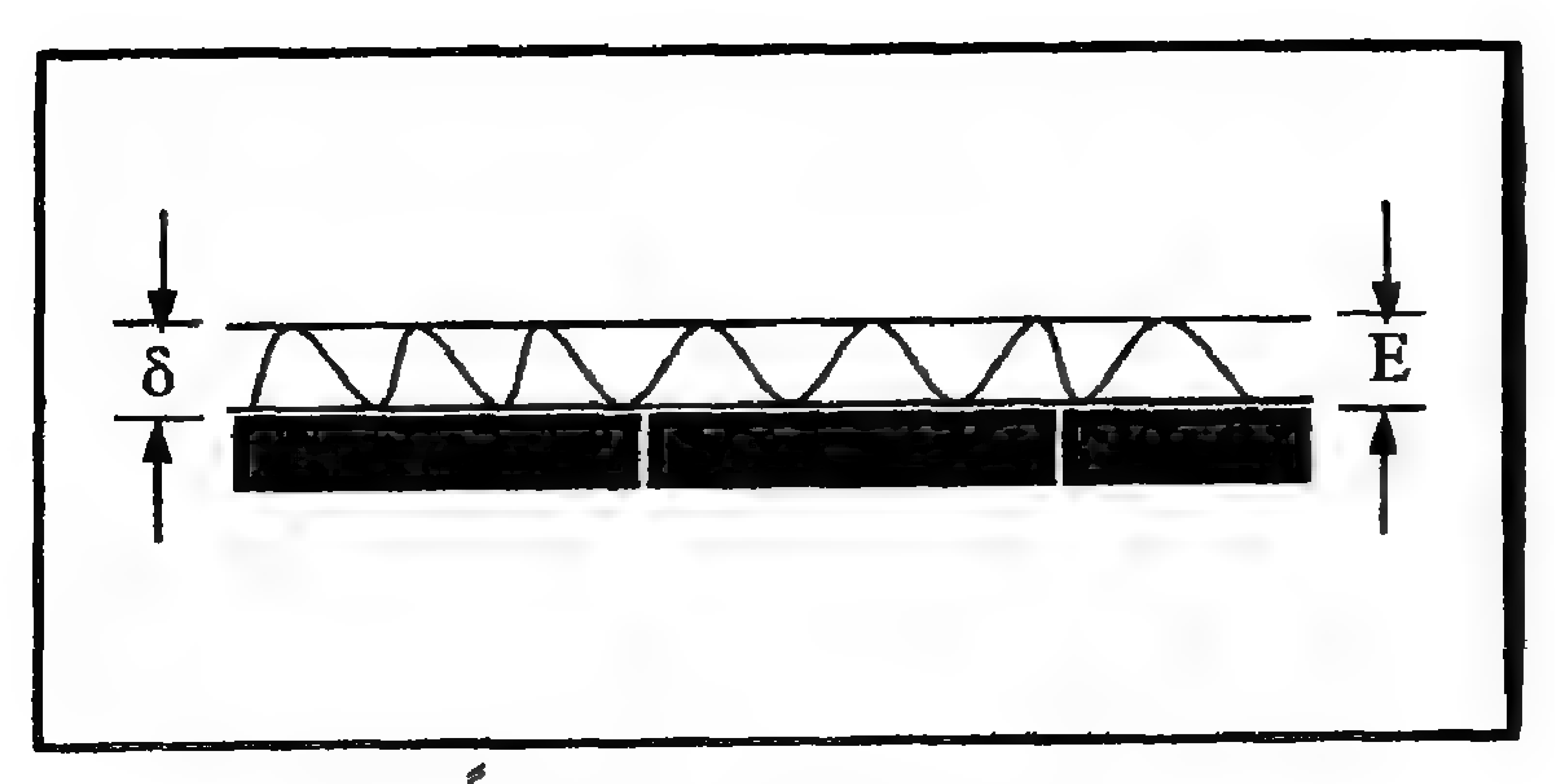
من المتعارف عليه أن المائع يتكون من طبقات رقائقية دقيقة وأن المائع يمكن أن يتواجد متماسكاً على شكلٍ طبقة رقيقة. وإذا ما أصبحت السماكة أدنى من ذلك فإن المائع لا يعود متماسكا وبذلك تسمى سماكة الطبقة التي لا يتواجد المائع عند سماكة أدنى منها (السماكة الدنيا) (δ) للمائع Minimum Film Thickness. تحتفظ هذه الطبقة بالتماسك واللزوجة. وتظهر هذه الخاصية للمائع على جدران الأنبوب الذي يسري فيه المائع.

من المعروف أن سطح الأنبوب لا يكون أملساً بشكل مطلق وأن هناك نتوءات في جدار الأنبوب كما في الشكل (6-5).

وإذا كانت السماكة الدنيا (δ) للمائع أكبر من ارتفاع النتوءات فإنها تغطي هذه النتوءات وبالتالي فإن طبقات المائع تنزلق فوق بعضها البعض دون أن تعيقها النتوءات وفي هذه الحالة يسمى الأنبوب أملس هيدروليكيا.



أنبوب أملس هيدروليكيا



أنبوب خشن هيدروليكياً

شكل 6-5

أما إذا كانت سماكة النتوءات أعلى من سماكة هذه الطبقة فإن هذه الطبقة لا تغطي النتوءات بشكل كامل وفي هذه الحالة يسمى الأنبوب خشن هيدروليكياً.

يقل سمك الطبقة اللزجة للمائع لكما قلت اللزوجة الكينمائيكية للمائع، وتتأثر سماكة هذه الطبقة بسرعة الجريان حيث تقل سماكة هذه الطبقة بازدياد السرعة. أي أن سمك الطبقة اللزجة يتناسب طردياً مع اللزوجة الكينماتيكية وعكسياً مع سرعة الجريان.

المعادلة التي ترتبط (δ) هي:

$$\delta = \frac{32.8\times\upsilon}{V\sqrt{f}}$$

حيث:

υ: اللزوجة الكينماتيكية.

V: سرعة الجريان.

f: معامل الاحتكاك.

بشكل عام إذا كانت $\delta > 5E$ تكون الماسورة ملساء هيدروليكياً.

بشكل عام يؤدي الاحتكاك إلى فقدان جزء من سمت الضغط وبذلك يفقد المائع جزءاً من طاقته بسبب الاحتكاك. وما يهمنا هو التقليل من قيمة الطاقة

المفقودة. وهناك أسباب أخرى تؤدي إلى فقدان في طاقة المائع وفيما يلي بعض منها.

5-5 فواقد الطاقة:

تتعدد أسباب وأشكال فوائد الطاقة ولكن أهم هذه الفواقد هو الاحتكاك. وهناك بعض القواعد المحدودة الأثر مثل تغير مساحة المقطع، الحشو البارز، الأكواع، المحابس والصمامات.

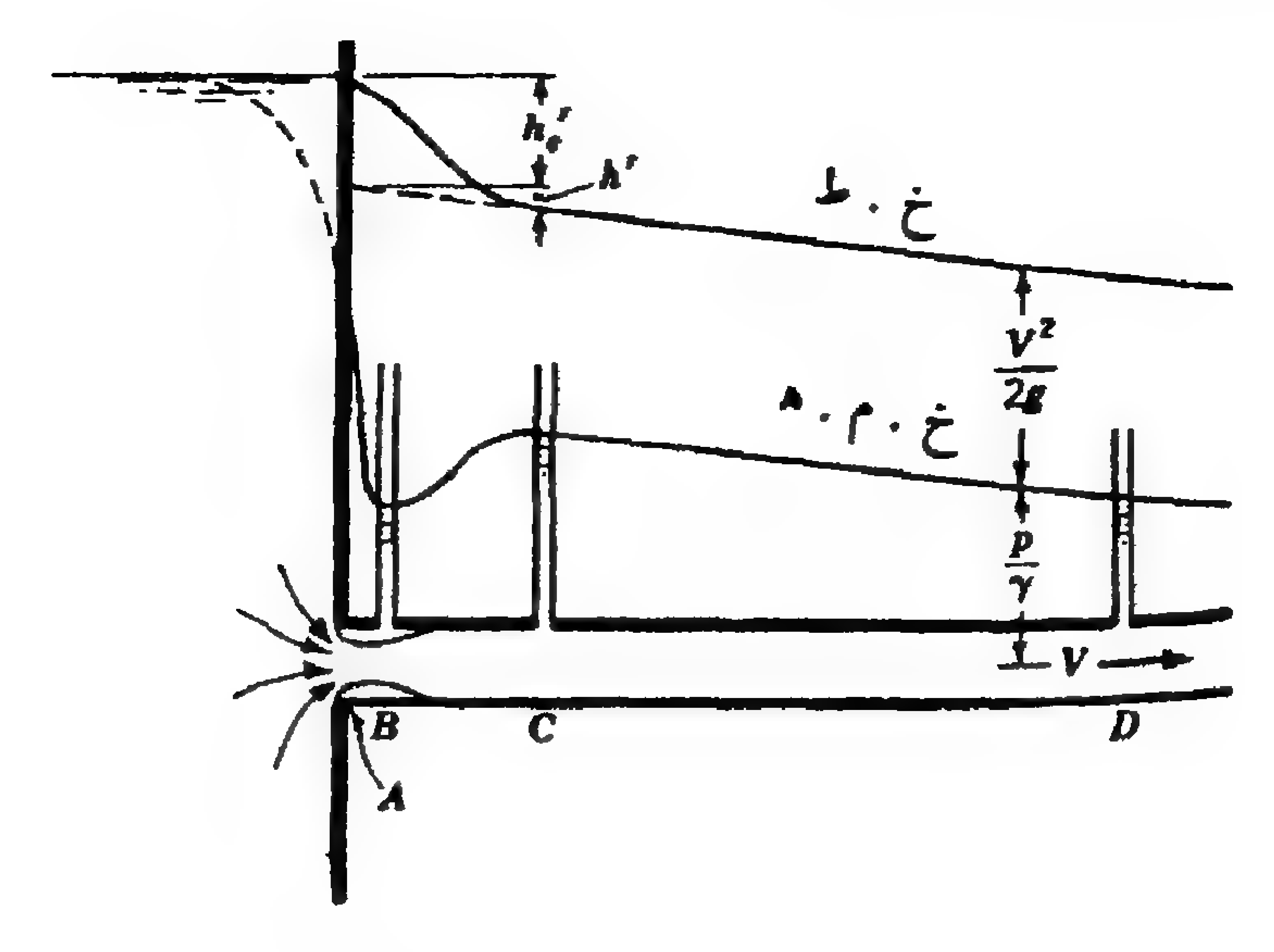
عندما تكون مسافات المواسير قصيرة مثل خطوط أنابيب المضخات فإن الفواقد المذكورة أعلاه تصبح ذات أهمية مقارنة بفواقد الاحتكاك الذي تكون أهميته في المواسير الطويلة حيث تعتبر الفواقد الأخرى غير مهمة في المواسير الطويلة لان قيم الفواقد الناتجة عنها تعتبر قليلة جداً بالمقارنة مع فواقد الاحتكاك.

فمثلاً يعتبر فقدات السمت مهماً عند مدخل ماسورة سحب لمضخة وخاصة في حالة وجود صمام سفلي أو مصفاة وقد يكون أكبر بكثير من فاقد الاحتكاك في ماسورة المدخل القصيرة.

وعندما تتغير سرعة الانسياب إما في المقدار أو في الاتجاه، فإن تيارات دوامية تتكون وينتج عن ذلك فقد في الطاقة يزيد عن فاقد الاحتكاك لنفس طول الماسورة، ويتناسب مقدار هذا الفاقد مع مقدار التغير الفجائي في السرعة.

وفي الغالب يتم التعبير عن فواقد الطاقة بدلالة سمت السرعة $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ مضروباً في معامل الفاقد (K).

1- فقد السمت عند المدخل



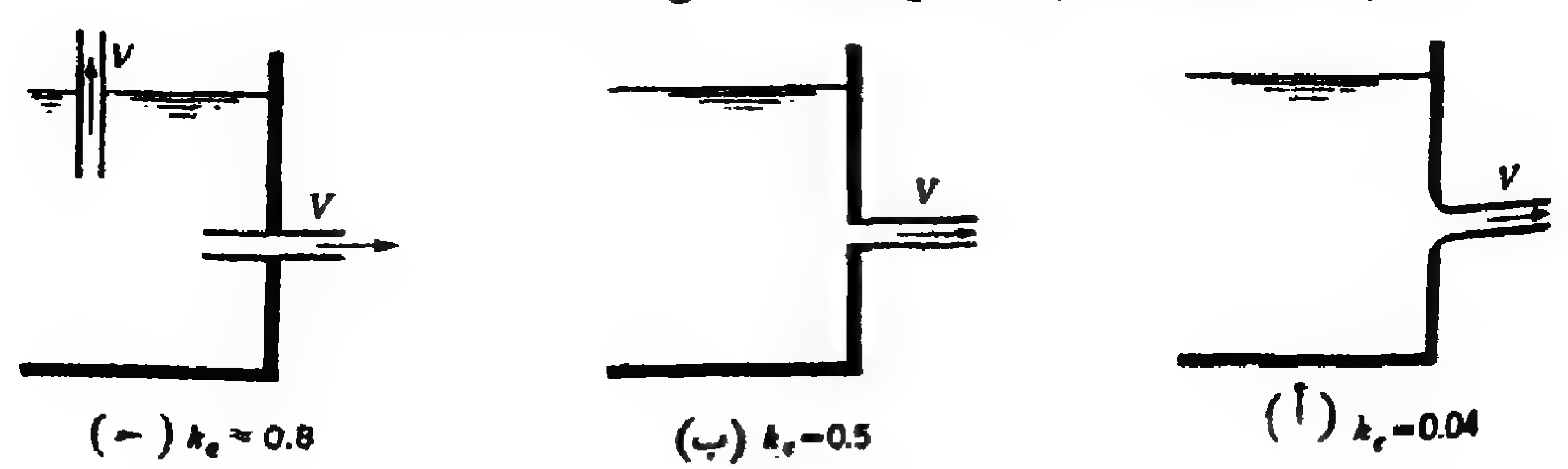
شكل (7-5) الظروف عند المدخل

بالرجوع إلى الشكل (7-5) فإنه يمكن ملاحظة أنه كلما دخل المائع من الخزان إلى الماسورة، فإن خطوط السريان تحاول التقارب من بعضها البعض كما لو كانت خطوط نفث يندفع من فوهه ذات حافة حادة. بحيث يوجد عند النقطة B أقصى سرعة وأقل ضغط كما يبين ذلك عمود البيزوميتر، ويكون السريان عند هذه النقطة محاطاً بمائع في حالة اضطراب وذو حركة تقدمية بطيئة جداً. بين B و C يصبح المائع في حالة تشويش كبيرة لأن الانسياب يتحدد وتنخفض السرعة بينما يرتفع الضغط (لاحظ خط الميل الهيدروليكي وخط الطاقة). من C إلى D يصبح الانسياب عاديا (لاحظ خ. م. هـ).

من الملاحظ أن فقد الطاقة عند المدخل يكون موزعاً على طول المسافة من A إلى C وهذه المسافة تعادل عدة أضعاف قطر الماسورة. وكمية الطاقة المفقودة خلال هذا الطول أكبر بكثير من الطاقة المفقودة بالاحتكاك لنفس المسافة ويمكن التعبير عن فقد السمت عند المدخل بالعلاقة:

$$h_e = K_e \frac{V^2}{2g} \qquad (5\text{-}12)$$

ويبين الشكل (8-5) معامل فقد المدخل لفتحات مختلفة.



شكل 8 - 5 فواقد المدخل

مقطع B، نقطة أقصى تقلص للانسياب تعرف (بالفينا كنتراكتا)

حيث V السرعة المتوسطة.

ينتج فقد المدخل أصلاً عن الاضطراب المتولد من تزايد الانسياب بعد مروره بالمقطع B، ويعتمد مقدار هذا الاضطراب على مقدار التقلص في المجرى عند دخول المائع في الماسورة. فإذا كان المدخل إلى الماسورة مستديراً بشكل جيد أو على شكل جرس (شكل أ 7-5) فإن التقلص يكون معدوماً وتكون الفواقد قليلة (معامل الفاقد K_e يكون صغيراً).

أما المدخل المتساطح (الشكل ب) فإن قيمة K_e تكون حوالي 0.5. أما الماسورة البارزة إلى داخل الخزان (شكل حـ)، فإنها تعطي أقصى تقلص تقريباً ($K_e = 0.8$).

2- فقد السمت عند المخرج:

عند تصريف مائع بسرعة (V) إلى داخل خزان كبير لدرجة أن السرعة بداخله تكون مهملة، فإنه يتم امتصاص طاقة الحركة بكاملها وبالتالي فإن فقد المخرج يساوي $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ أي أن (K) للمخرج تساوي 1.00.

وهذا حقيقي ويمكن إثبات ذلك بتطبيق معادلة برتولي. التي تبين أن طاقة

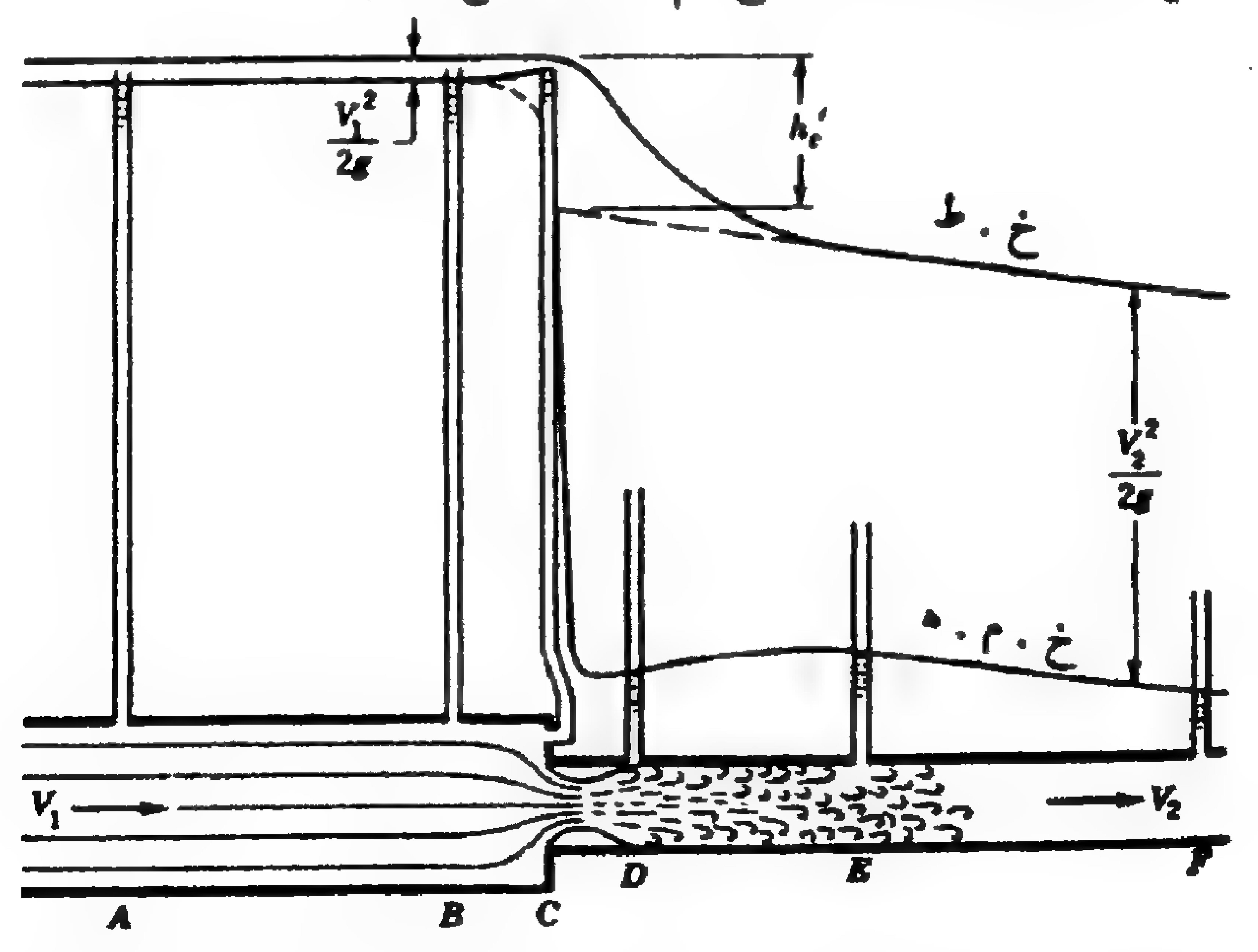
الضغط P/γ داخل الخزان تكون صفراً. وفي جميع الحالات يكون معامل فقد المخرج 1.00 وبالتالي فإن الطريقة الوحيدة للتقليل من هذا الفقد هي التقليل من طاقة حركة المائع قدر الإمكان وذلك قبل الدخول في الخزان ويكون ذلك بالتوسيع التدريجي للماسورة عند المدخل (يؤدي ذلك إلى تقليل قيمة السرعة V).

يجب التأكيد هنا على أن فقد المخرج يحدث بعد خروج المائع من الماسورة وأن فقد المدخل يحدث بعد دخول المائع إلى الماسورة.

3- الفقد نتيجة التقلص:

أ- التقلص الفجائي:

يبين الشكل (9-5) الظواهر التي توضح التقلص الفجائي في المقطع. وبين عمود البيزوميتر انخفاض ملحوظ في الضغط (ح. م. هـ) كنتيجة لزيادة السرعة التي يبينها الفرق بين (ح. م. هـ) و (خ. ط).



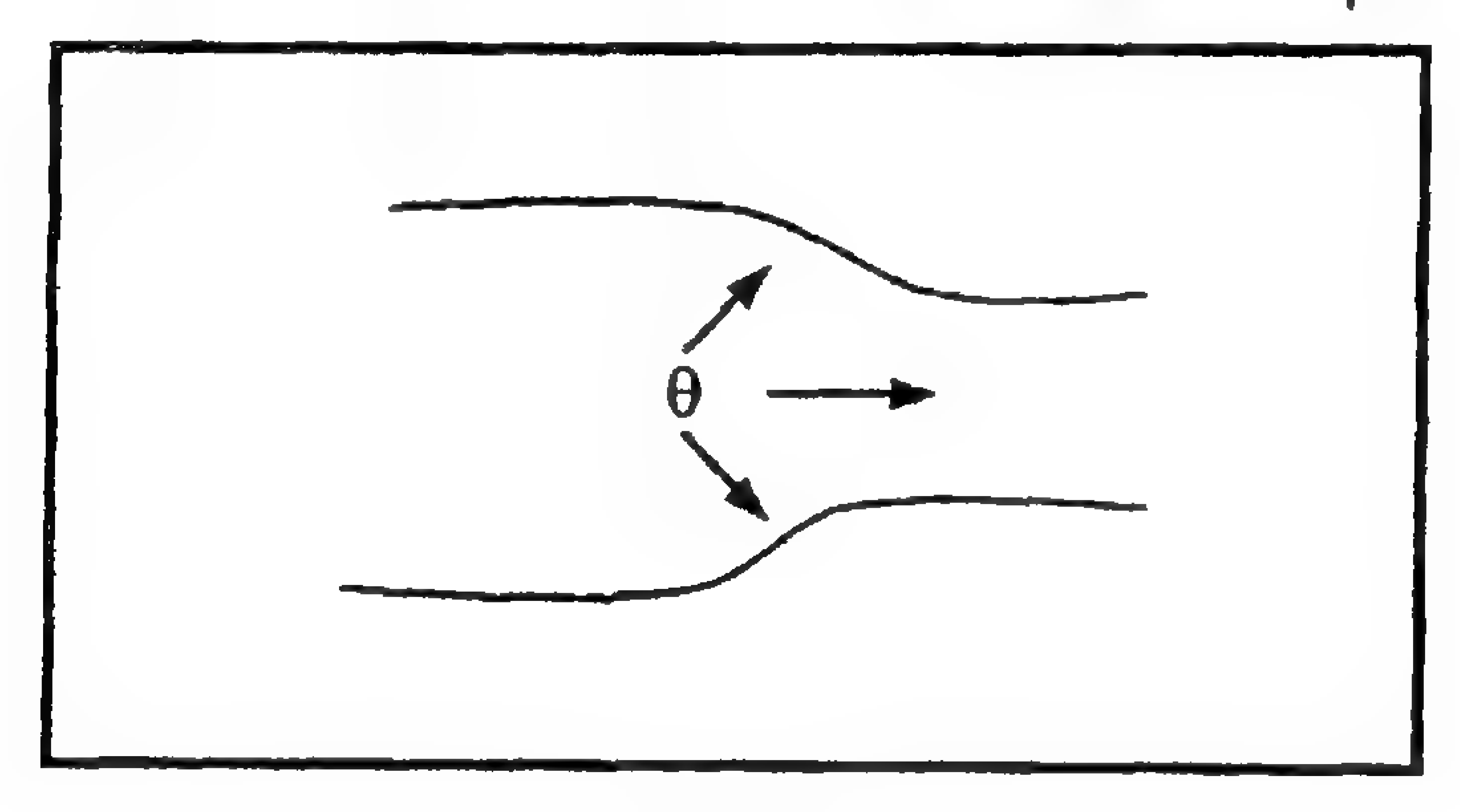
شكل 9-5 الفقد نتيجة التقلص الفجائي (مرسوماً بمقياس رسم من التجارب التي قام بها دوجرتي)

يلاحظ زيادة ملحوظة في الضغط عند النقطة (C) بسبب تجمع خطوط السريان في هذه المنطقة.أما المنطقة من (C) إلى (E) فإن الظروف تشابه ما تم توضحيه في فقط الطاقة عند المدخل ويمكن التعبير عن فقد التقلص الفجائي بالعلاقة:

$$h_c = K_C \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad \text{.......................................} \quad (5\text{-}8)$$

ب- التقلص التدريجي:

للتقليل من تأثير التقلص الفجائي، يجب تفادي التغيرات الفجائية في المقطع، ويمكن التقليل من هذا التأثير بواسطة الانتقال التدريجي من قطر إلى آخر أو باستخدام مخروط ناقص.



شكل 5-10

ويمكن بواسطة الانتقال التدريجي تخفيض قيمة K_c، ويمكن أن يكون صغيراً لدرجة أن قيمته تصل إلى 0.05 أفضل زاوية للمخروط كما في الشكل (5-10) هي من 20° إلى 40° ويبني الجدول (5-2) قيم K_c المختلفة مقابل النسبة بين أقطار المواسير (D_2 / D_1).

D_2/D_1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.10
K_C	0.50	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.28	0.22	0.15	0.06	0.00

جدول (5-2)

3- الفقد نتيجة التوسع:

أ- التوسع الفجائي:

يبين الشكل (5-11) ظروف التوسع الفجائي، حيث يسجل (ح. م. هـ) ارتفاعاً في الضغط بسبب انخفاض السرعة، ولكن هذا الارتفاع ليس كثيراً بما يكفي لتعويض الانخفاض في السرعة. كما يوضح الشكل فإن حالة من الاضطراب توجد في المنطقة من C إلى F ويصبح بعدها الانسياب عاديا.

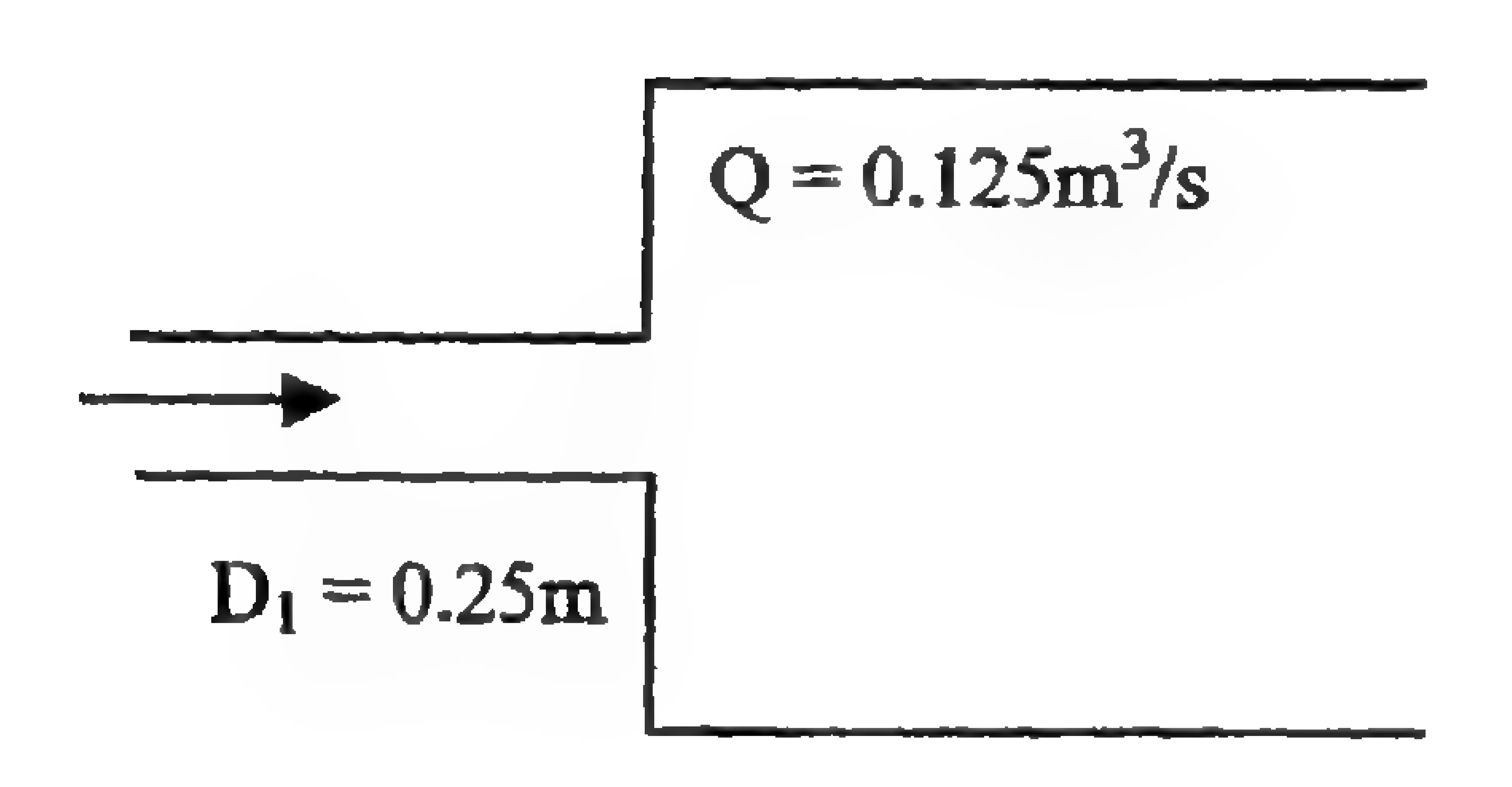
مثال 4:

يتدفق ماء في أنبوب قطره 25cm بمعدل 125 L/S ثم يتوسع الأنبوب فجأة إلى قطر 0.4m أوجد:

1- السمت المفقود بسبب التوسع.

2- الارتفاع في الضغط الناشئ عن التوسع.

الحل:



$$Q = \frac{125}{1000} = 0.125\,m^3/s$$

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{2}(0.25)^2 = 0.049\ m^2 \rightarrow V_1 = 2.56\ m/s$$

$$A_2 = \frac{\pi}{2}(0.4)^2 = 0.125\ m^2 \rightarrow V_2 = 1\ m/s$$

$$h_L = \frac{(V_1 - V_2)}{2g} = \frac{(2.56-1)}{2 \times 9.81} = 0.12m$$

نطبق معادلة برنولي:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = h_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

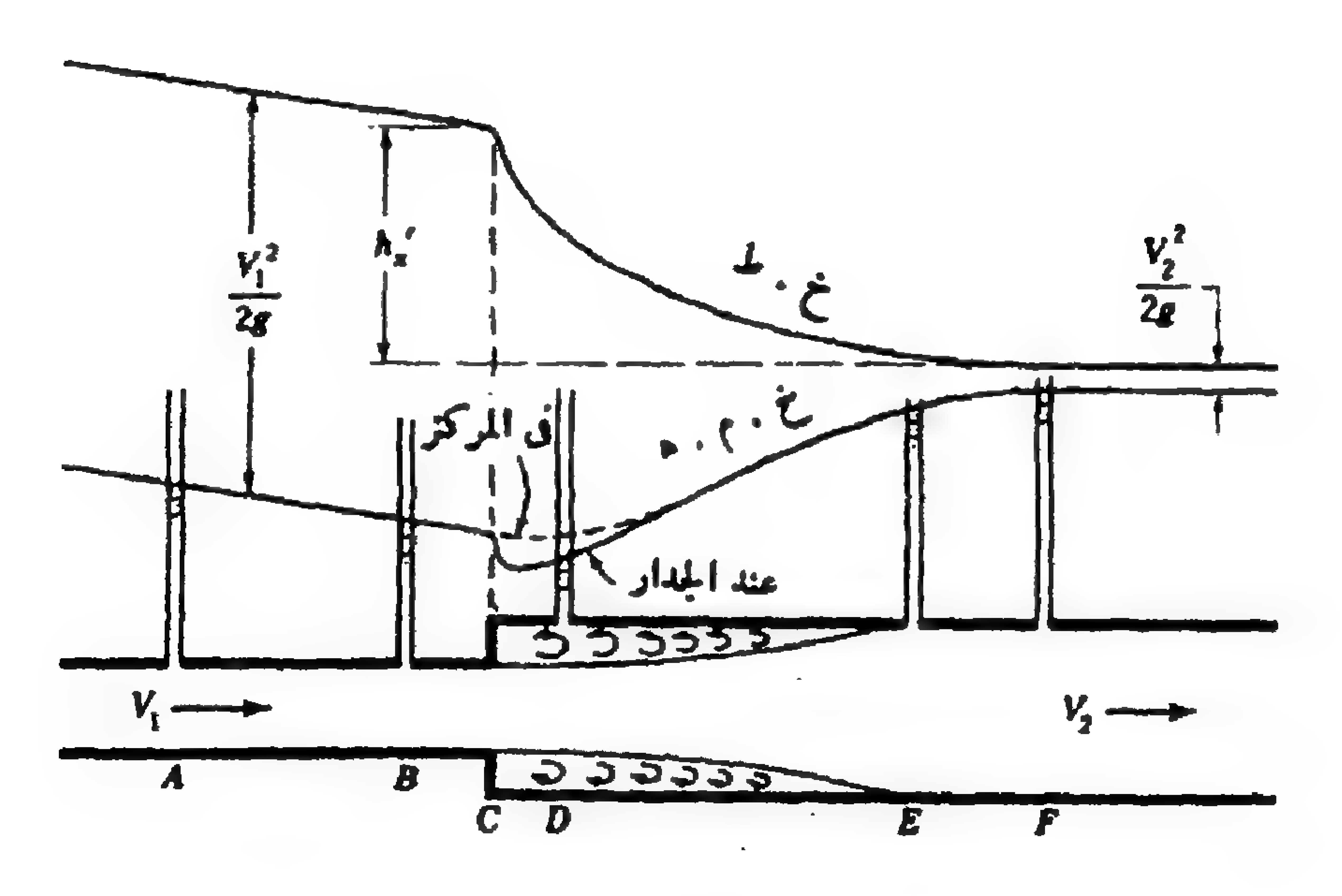
$$\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - h_L$$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{(2.56)^2 - (1)^2}{2 \times 9.81} - 0.12$$

$= 0.275m$

$\Delta P = 0.275 \times 1000 \times 9.81$

$= 26.98$ KPa



شكل 11-5

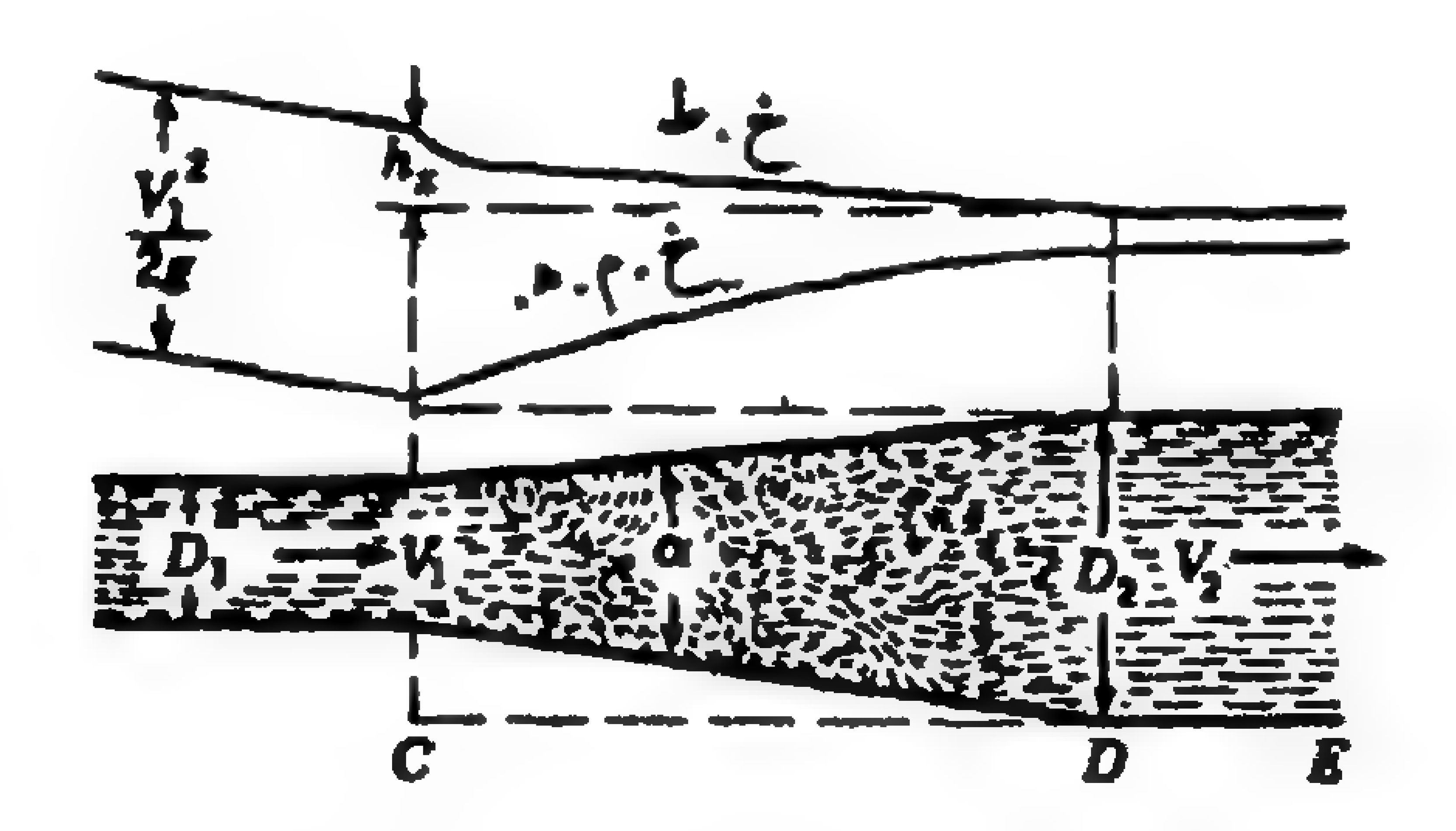
الفقد نتيجة الاتساع الفجائي (مرسوم بمقياس رسم من ملاحظات دوجرتي.

الأشكال (5-8) و (5-10) أخذت نفس مقياس الرسم من قياسات معملية لنفس نسبة الأقطار (D2 / D1) ولنفس السرعات. توضح القياسات أن الفقد نتيجة للتوسع الفجائي أكبر من الفقد نتيجة للتقلص الفجائي المناظر. وهذا صحيح بسبب عدم الاتزان القطري حيث أن الممرات المتباعدة للانسياب تفتح المجال لحدوث دوامات داخل الانسياب، بالإضافة إلى أن التوسع يؤدي إلى انفصال المائع عن جدران الأنابيب مما يشجع حدوث دوامات أو جيوب من الدوامات المضطربة خارج مجال الانسياب. والمعادلة التالية يبين قيمة الفقد نتيجة للاتساع المفاجئ.

$$h_x = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad \text{(5-14)}$$

ب- التوسع التدريجي:

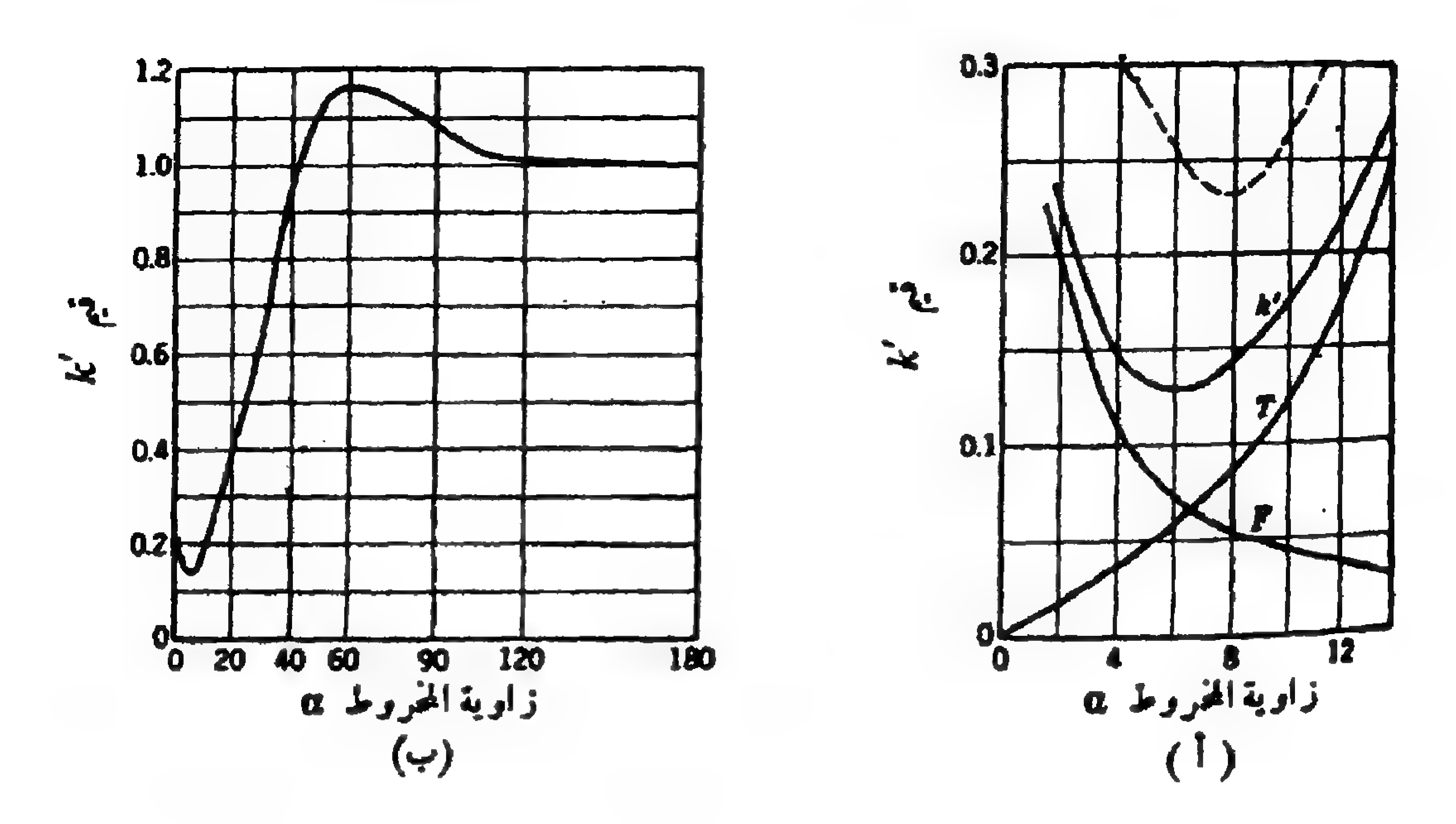
لتقليل الفاقد الناتج عن توسع المقطع (نقص السرعة) يستخدم الناشر الموضح في الشكل (5-12) حيث يمكن أن يأخذ الناشر مساراً منحنيا أو مخروطا ناقصا، ويعتمد مقدار الفقد على مقدار زاوية الانفراج، وكذلك على النسبية بين المساحتين وهذان هما اللذان يحددان طول الناشر.



شكل 5-12 الفقد نتيجة لاتساع التدريجي

فإن كانت الزاوية (α) صغيرة والنسبة بين الأقطار كبيرة فإن الناشر يصبح طويلاً وبذلك يزداد فاقد الاحتكاك. أما إذا زادت الزاوية (α) وصغر

طول الناشر انخفض الاحتكاك. وإذا كان الانفراج كبيراً (الزاوية أكبر) فإنه يحتمل حدوث انفصال عند الجدران وبالتالي حدوث دوامات. ويبين الشكل (5-13) (ب) تأثيرات زاوية المخروط على قيمة المعامل K.



شكل (5-13) معامل الفقد للنواشر المخروطية

ويمكن التعبير عن مقدار الفاقد في الطاقة بسبب التوسع التدريجي في الناشر بالعلاقة التالية:

$$h = K\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad \text{.....(5-15)}$$

الفقد وصلات المواسير:

يبين الجدول (5-2) قيم K ويبين كذلك نسبة L/D المكافئة لكل من الوصلات المذكورة حيث يمكن إيجاد الفاقد بدلالة الاحتكاك للطول المكافئ المبين في الجدول.

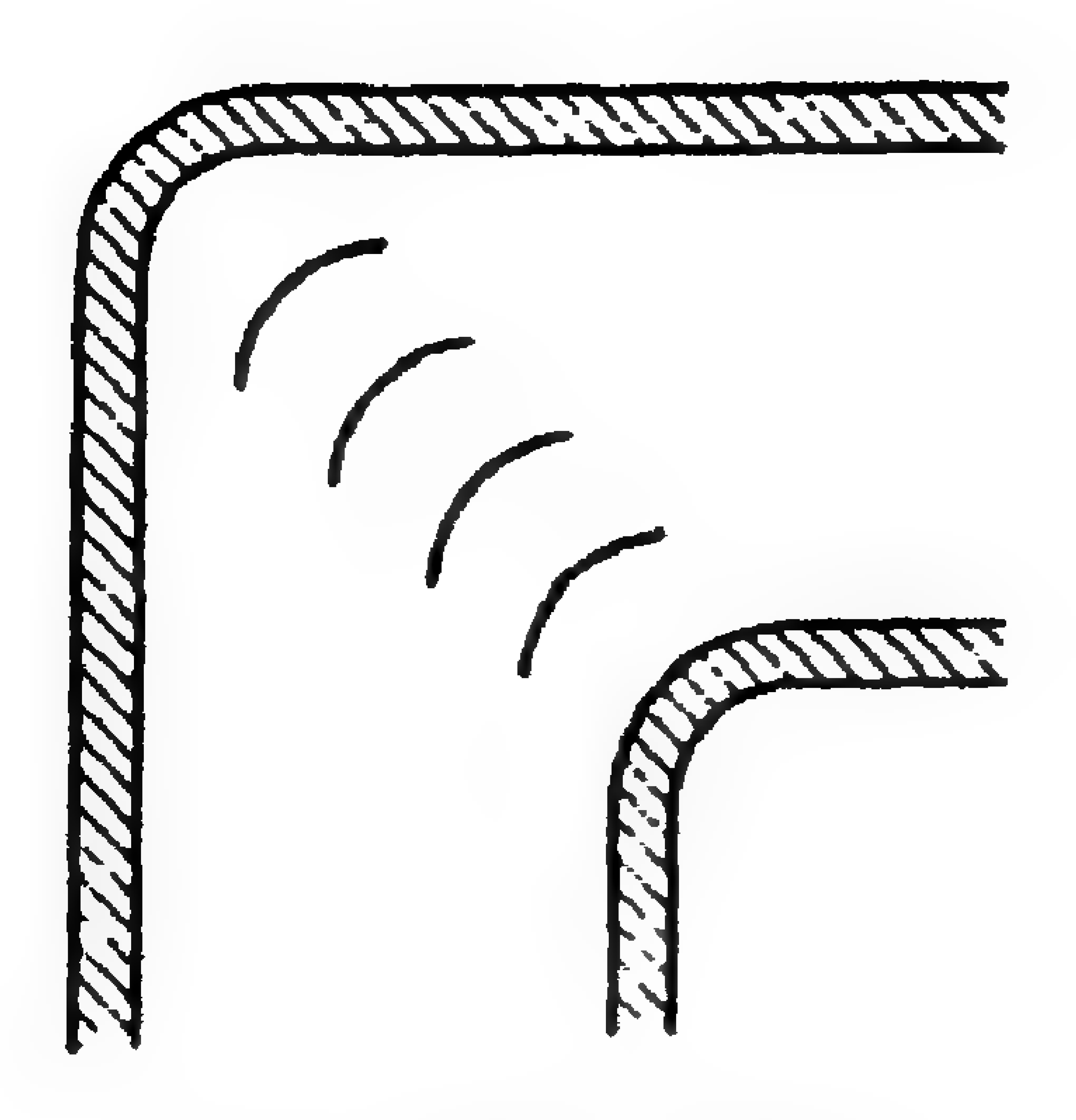
جدول 3-5 قيم معاملات الفقد لوصلات المواسير

L/D	k	الوصلة
350	10	صمام كروي، فتحة كاملة
175	5	صمام زاوية، فتحة كاملة
75	2.2	انحناء عائد كامل U
67	1.8	وصلة T، خلال مخرج جانبي
32	0.9	كوع نصف قطر قصير
27	0.75	كوع نصف قطر متوسط
20	0.60	كوع نصف قطر طويل
15	0.42	كوع 42°
7	0.19	صمام بوابة، فتحة كاملة

5-6 الفقد في الانحناءات والأكواع:

في الانسياب عبر الانحناءات والأكواع توجد زيادة في الضغط على طول الجدار الخارجي وانخفاض في الضغط على طول الجدار الداخلي، وبعد تجاوز المائع لمنطقة الانحناء وعودة الانسياب إلى وضعه الطبيعي، ويجب أن ياخذ الضغط بالارتفاع تدريجيا، وبما أن الضغط يرتفع على حساب انخفاض السرعة ولكن السرعة تكون صفراً عند الكوع، لذا فمن الممكن حدوث انفصال الجدار بعد الداخلي للكوع.

يمكن التخلص من جزء كبير من فاقد الطاقة في الأكواع وذلك باستخدام أكواع ذات ارياشق (زعانف) كما في الشكل (5-14)



شكل 14-5 كوع ذو أرياش

حيث تحاول هذه الزعانف إخماد الدوامات أو الانسيابات الثانوية التي تنشأ في منطقة الكوع.

يعتمد فقد الطاقة عند الأكواع إلى حد كبير على النسبة بين نصف قطر الانحناء ونصف قطر الماسورة. وتزداد قيمة الفاقد كلما زادت زاوية الانحناء.

الوحدة السادسة

المضخات

الوحدة السادسة

المضخات

مقدمة:

المضخات من الأجهزة المستهلكة للطاقة وتستخدم لرفع ضغط وسرعة المائع وهي تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة هيدروليكية وفي كثير من الأحيان تستخدم لنقل الموائع (السوائل غالبا) من منطقة إلى أخرى قد تكون على نفس المستوى أو إلى مستويات أعلى.

المضخات أنواع متعددة وتختلف في تصميمها وأداءها حسب العمل المطلوب منها إنجازه وسوف يتم توضيح ذلك عند تقديم أنواع المضخات:

6-1 أنواع المضخات:

يمكن القول أن هناك نوعان رئيسيان من المضخات:

أ- المضخات ذات الإزاحة الموجبة.

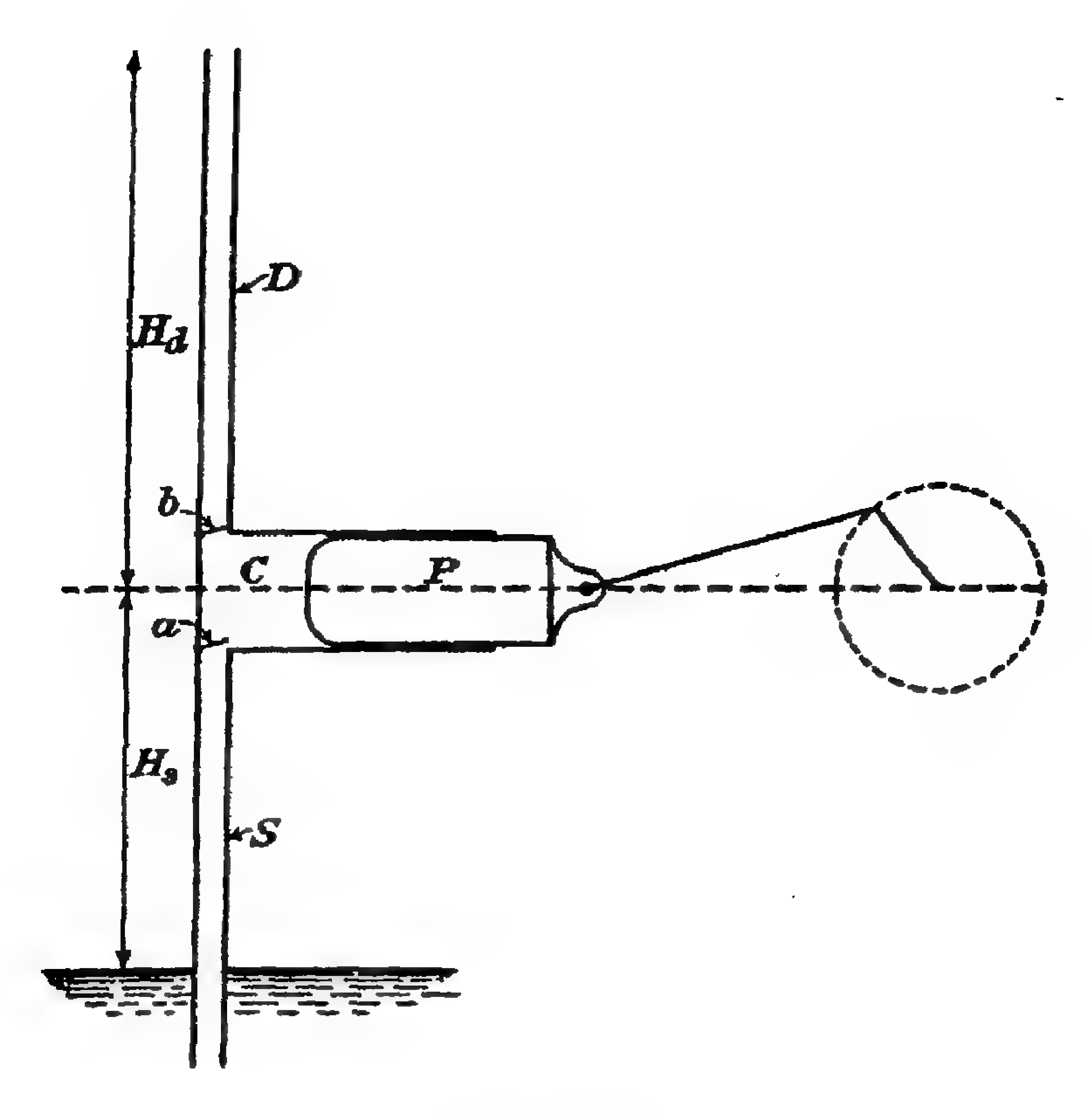
ب- المضخات النابذة المحورية أو ا(الطاردة عن المركز) أو (الديناميكية الدوارة).

أ- مضخات الإزاحة الموجبة:

حيث يتم في هذا النوع من المضخات عزل منطقة التصريف ذات الضغط العالي عن منطقة السحب (المدخل) ذات الضغط المنخفض. وهناك أنواع عديدة من هذه المضخات أهمها:

1- المضخة الترددية:

سميت كذلك لأن حركة الجزء الضاغط منها لا تكون دورانية بل حركة ترددية (ذهابا وإيابا) ويبين الشكل (1-6) مضخة كباسية ترددية.



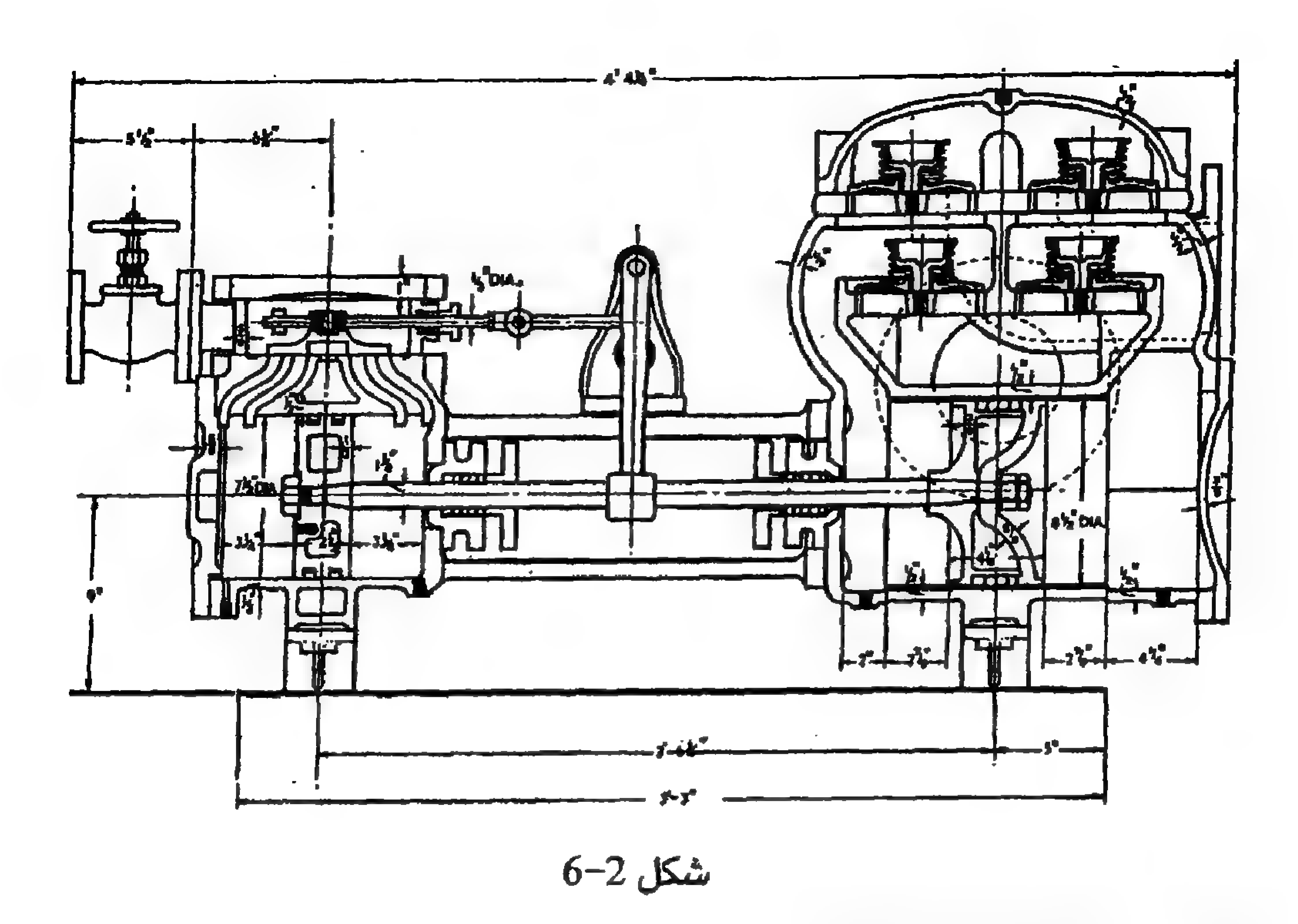
شكل 1-6

تتكون المضخة الترددية أساساً من اسطوانة يتحرك داخلها مكبس وأثناء حركته يقوم بشوط السحب، حيث يزداد الحجم المحصور بين صدر الاسدوانة والمكبس مما يؤدي إلى تكوّن ضغط سالب داخل الاسطوانة الأمر الذي يدفع بالمائع إلى داخل الاسطوانة بسبب فارق الضغط، وأثناء شوط رجوع المكبس باتجاه صدر الاسطوانة (شوط الضغط) يتم رفع ضغط المائع ودفعه بقوة باتجاه المخرج.

تسمى المضخة التي تعمل على جهة واحدة من جهتي المكبس والاسطوانة - مضخة احادية التأثير، وتسمى تلك التي تسحب وتضخ المائع على جانبي الاسطوانة مضخة ثنائية التأثير.

يسمى العمق الذي تسحب منه المضخة المائع - عمود السحب (h_s)، ويسمى الارتفاع التي تضخ إليه المضخة المائع - عمود الدفع h_α كما في الشكل 1-6.

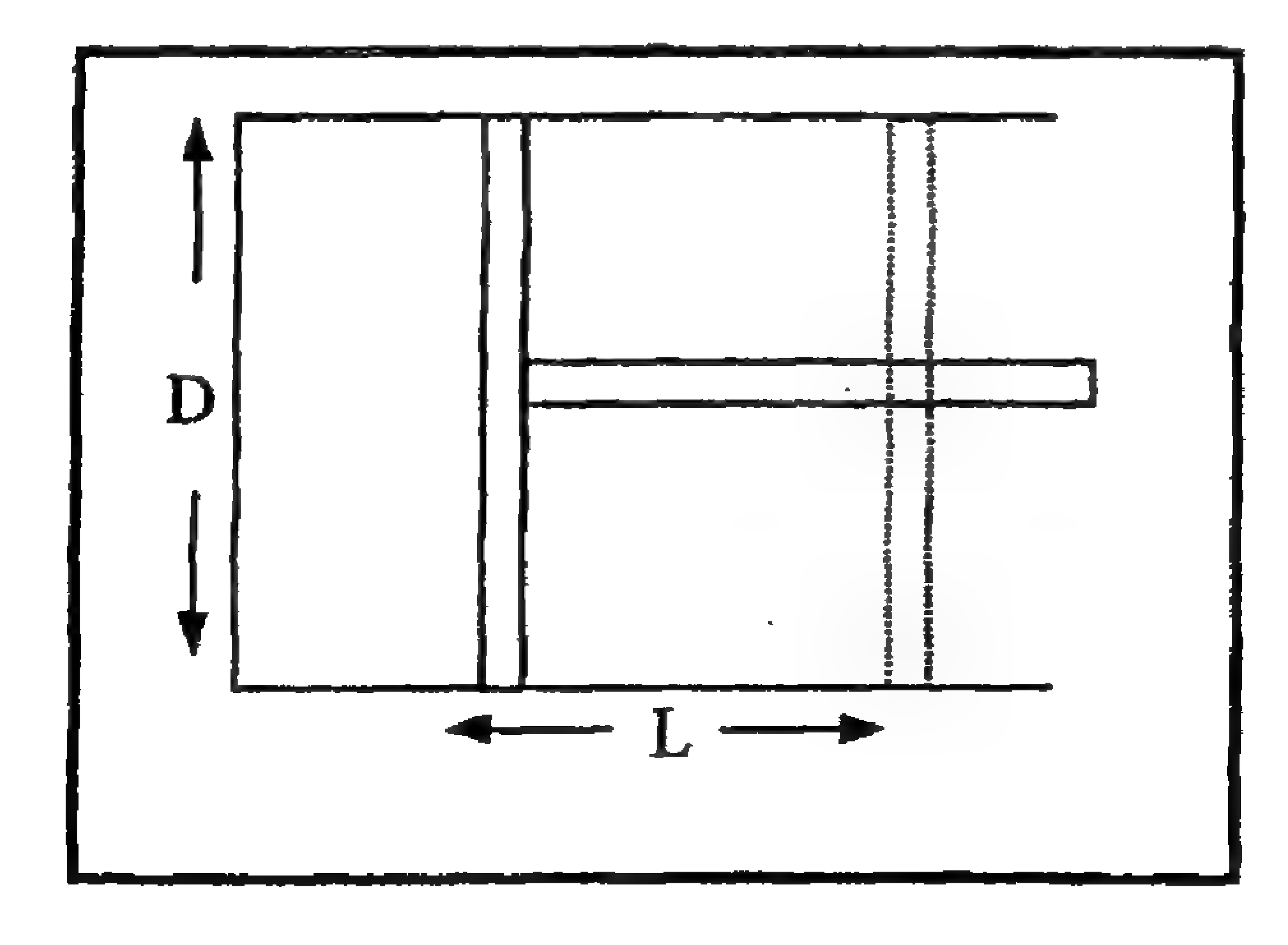
وبين الشكل (2-6) مقطعاً في مضخة كباسية ثنائية التأثير.



شكل 2-6

الشغل الذي تنجزه المضخة:

كما في الشكل (3-6) لتكن:



A: مساحة مقطع المكبس $\left(\frac{\pi}{4}D^2\right)$.

L: طول الشوط (المسافة التي يتحركها المكبس ذهاباً وإياباً.

وبالتالي يكون الحجم النظري لكل نبضة = A.L.

وزن المائع الذي يتم ضخه في كل نبضة γ. A. L.

h_s: ارتفاع عمود السحب.

h_d: ارتفاع عمود الدفع.

الارتفاع الكلي = $H = h_s + d_d$

υ: سرعة المائع في أنبوب الدفع.

سمت السرعة في عمود الدفع = $\upsilon^2 / 2g$

غالباً ما تكون υ منخفضة وتتغير قيمتها أثناء الشوط الواحد ويمكن إهمالها ما لم يكن الارتفاع الكلي قليل

Q: كمية التدفق الحجمي m^3 / s

وبذلك تكون القدرة (الشغل المبذول بوحدة الزمن) Nm/s أو بوحدة واط = Watt

$\gamma.\ Q\ (h_s + h_d)$ ....(6-1)

وبوحدة الكيلو واط.

$\frac{\gamma.Q.(h_s + h_d)}{1000}$ KW .... (6-2)

والقدرة بوحدة الحصان الميكانيكي h_p تكون

$h_p = \frac{Watt}{746} = \frac{\gamma.Q(h_s + h_d)}{746}$ .... (6-3)

علاقات القدرة أعلاه تمثل القدرة الخارجية من المضخة وتكون قدرة المحرك الكهربائي الذي يحرك المضخة أعلى من ذلك بسبب الفواقد الميكانيكية والهيدروليكية.

التفويت Slip:

غالباً ما تكون كمية التدفق الحقيقي الخارج من المضخة أقل من التدفق النظري، ويعزى ذلك إلى فوارق الضغط والتهريب (التسرب) من المضخة. ويسمى الفرق بين التدفق النظري والتدفق الحقيقي (التفويت) Ship.

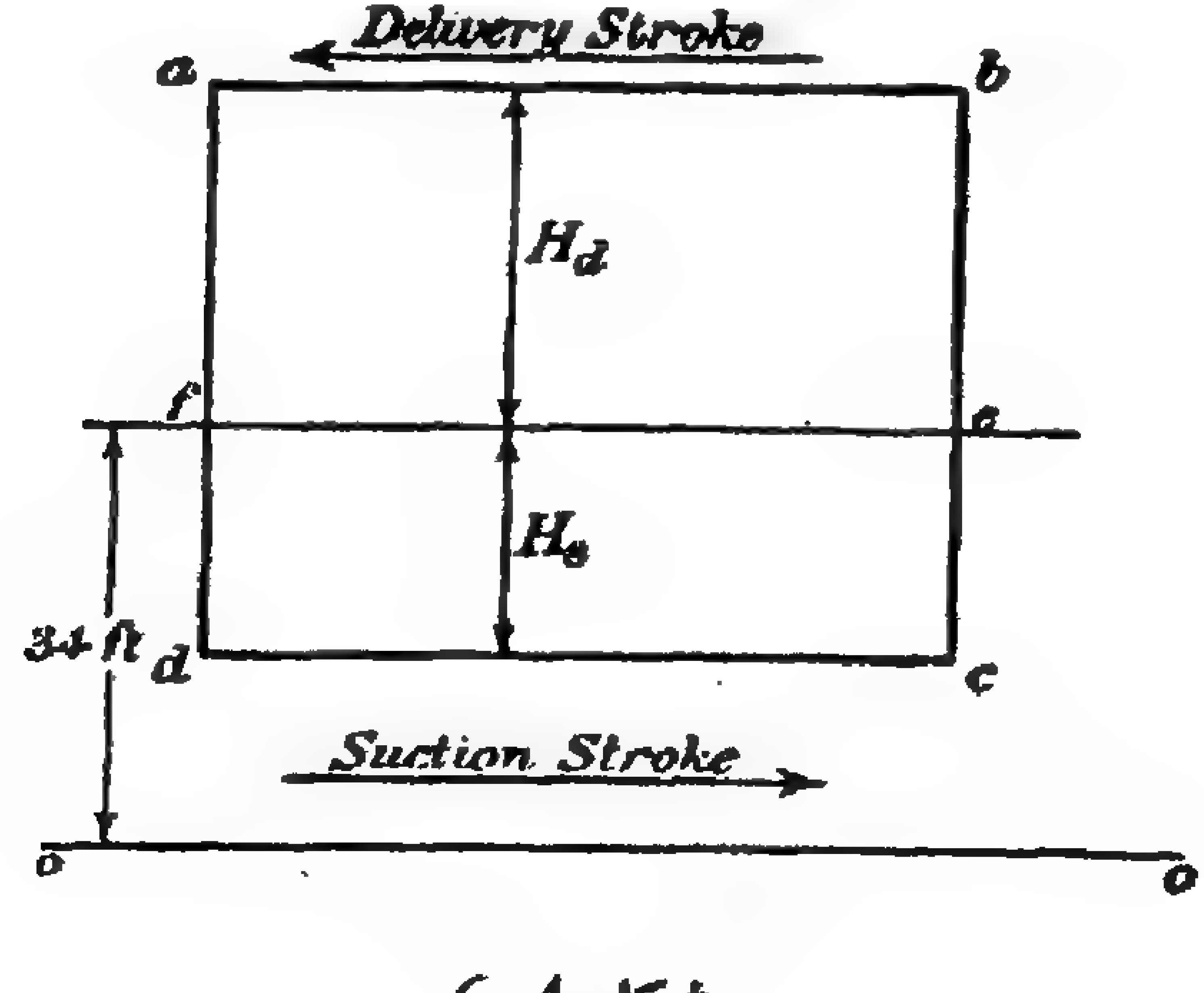
$$Slip = Q_{th} - Q_{act} \quad \text{.......... (6-4)}$$

وتسمى النسبة بين التدفق الحقيقي والتدفق النظري (الكفاءة الحجمية) أو معامل التصريف.

$$\eta = \frac{Q_{act}}{Q_{th}} \quad \text{.......... (6-5)}$$

في حالة ما إذا كان عمود السحب طويلاً وسمت الرفع قليلاً فإن الضغط في أنبوب السحب يصبح عاليا بالمقارنة مع سمت الدفع ويعزى ذلك إلى القصور الذاتي لعمود المائع في خط السحب خصوصا إذا كانت سرعة المضخة عالية، الأمر الذي يؤدي إلى أن يفتح الصمام في خط الدفع قبل نهاية شوط السحب، مما يؤدي إلى أن يصبح التدفق الحقيقي أكبر من التدفق النظري، وفي هذه الحالة يكون التفويت سالبا ومعامل الكفاءة أكبر من واحد صحيح.

ويبين الشكل 4-6 الشغل الذي تبذله المضخة أثناء دورة كاملة.



شكل 4-6

الإحداث العمودي يمثل مقدار الضغط على المكبس، بينما يمثل الإحداث الأفقي طول الشط.

الخط الأفقي (fe) الضغط الجوي، والخط (cd) يمثل الضغط داخل الاسطوانة، وهو أدنى من الضغط الجوي بمقدار h_s. الخط (ab) يمثل الضغط في الاسطوانة أثناء شوط الدفع، وهو اعلى من الضغط الجوي بمقدار h_d.

المساحة (dcef) تمثل الشغل الذي تبذله المضخة أثناء شوط السحب. وتمثل المساحة (abef) الشغل الذي تبذله المضخة أثناء شوط الدفع، وبالتالي فإن المساحة (abcd) تمثل الشغل الذي تبذله المضخة أثناء دورة كاملة.

أما إذا كانت المضخة مزدوجة التأثير فإن الشغل المبذول يساوي ضعف هذه المساحة.

مثال 1-6:

مضخة كباسية ترددية أحادية التأثير قطر مكبسها 30cm وطول شوطها 30cm. فإذا كان معدل التفويت 3٪ وسرعة المضخة 60 rpm وسمت المضخة 76m وفواقد الاحتكاك 7m أوجد:

1- كفاءة المضخة.

2- معدل التدفق الحقيقي للمضخة.

3- القدرة بالحصان الميكانيكي الأزق لتشغيل المضخة:

الحل:

السمت الكلي الذي يجب أن تتغلب عليه المضخة:

$$H_T = H + H_f$$

$$= 85 + 7 = 92 \text{ m}$$

$$Q_{th} = A.L \ \frac{n}{60}$$

$$= \frac{\pi}{4} (0.3)^2 \times 0.3 \times \frac{60}{60}$$

$$= 0.785 \times 0.09 \times 0.3 \times \frac{60}{60}$$

$$= 0.021 \ m^3/s$$

$$Q_{act} = Q_{th} \times 97\%$$

$$= 0.021 \times \frac{97}{100} = 0.0204 \ m^3/s$$

بما أن التفويت 3٪ فهذا أن كفاءة المضخة تعادل 97٪.

القدرة بالحصان الميكانيكي

$$h_p = \frac{\gamma . Q . H_T}{746}$$

$$= \frac{9.81 \times 1000 \times 0.031 \times 83}{746}$$

≈ 23 تقريباً

مثال 2:

مضخة كباسية أحادية التأثير لها مكبس قطره 20cm وشوط طوله 15Cm. أوجد القدرة بالحصان الميكانيكي اللازمة لتشغيل المضخة إذا كان على المضخة أن ترفع الماء لمسافة 80m عندما يدور عمود المرفق 100rpm. أوجد كذلك معدل الضخ الحقيقي إذا كان التفويت يعادل 4٪.

الحل:

نجد أولاً معدل التدفق النظري الذي يمكن حسابه من حجم الاسطوانة X عدد الدورات في الثانية:

$$Q_{th} = A.L \ \frac{n}{60}$$

$$= \frac{\pi}{4} (0.2)^2 \times 0.15 \times \frac{100}{60}$$

$$= 0.785 \times 0.04 \times 0.15 \times \frac{100}{60}$$

$$= 0.00785\ m^3/s$$

بما أن التفويت 4٪ فإن التدفق الحقيقي Q_{act}

$$= 96\% \times Q_{th}$$

$$= 96\% \times 0.00785 = 0.00753\ m^3/s$$

القدرة النظرية اللازمة لإدارة المضخة نجدها من المعادلة 3-6

$$h_p = \frac{\gamma.Q.H}{746}$$

$$= \frac{9.81 \times 1000 \times 0.0785 \times 80}{746}$$

$$= 8.32 h_p$$

الاسطوانات الهوائية في المضخة الكباسية:

وهو عبارة عن حجرة من المعدن لها فتحة في أسفلها متصلة مع أنبوب السحب أو أنبوب الدفع.

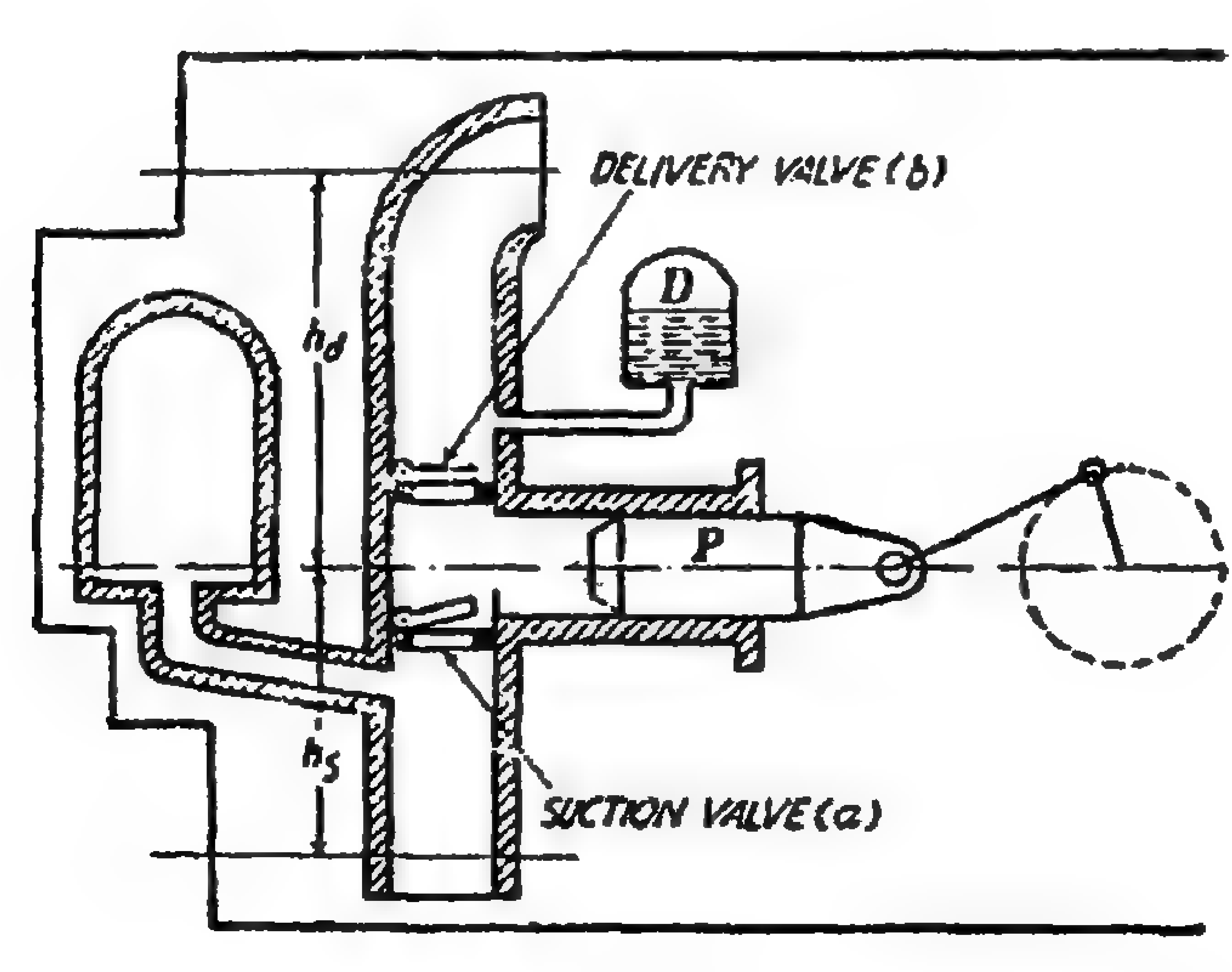
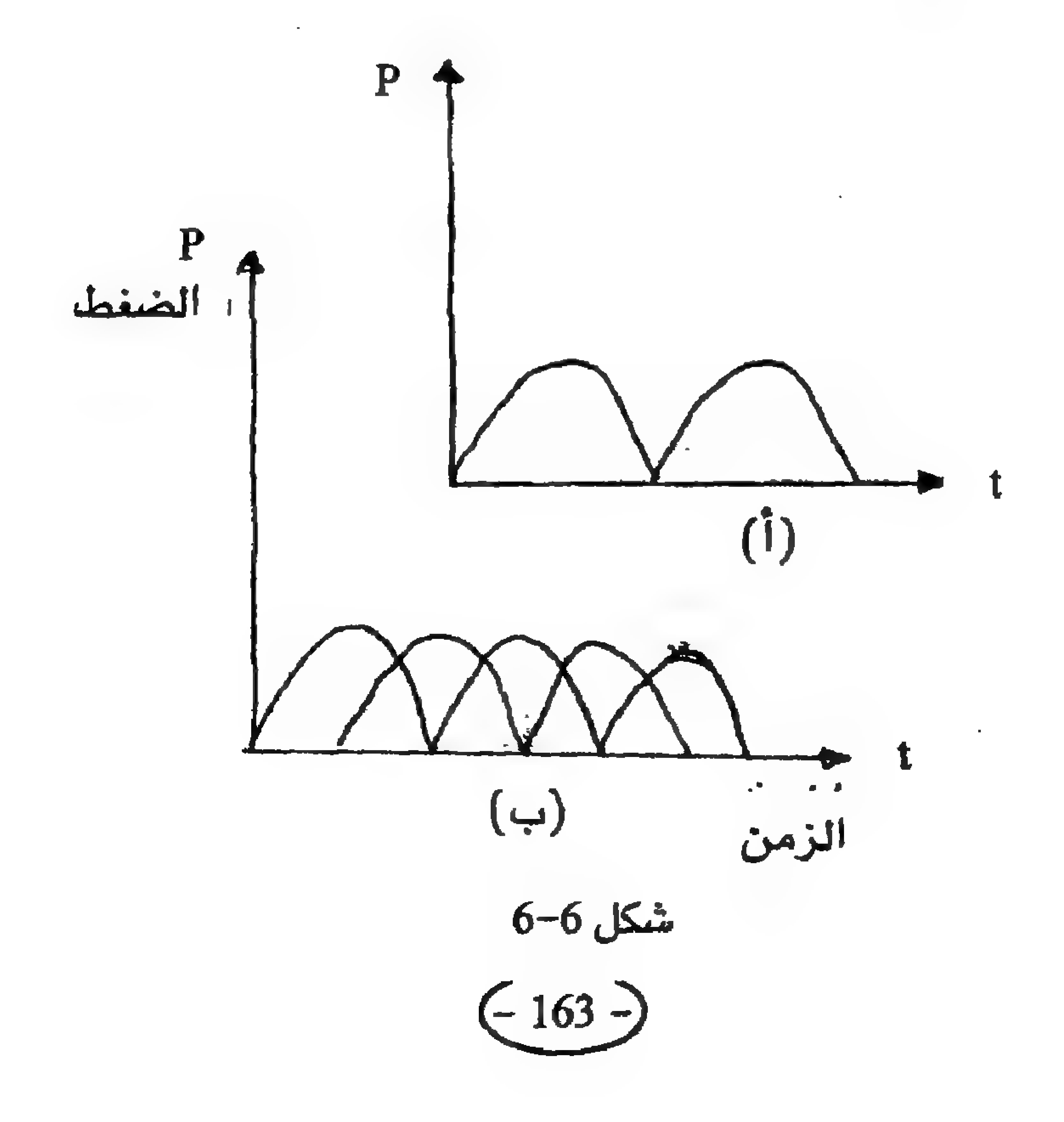


Fig. 0·7.

شكل 5-6

يتسارع المائع في الأنبوب مع تسارع المكبس داخل الاسطوانة وبالتالي فإن سرعة المائع تختلف من لحظة إلى أخرى أثناء شوط الضغط مع زيادة سرعة المائع يزداد مستوى المائع في الاسطوانة الهوائية مما يرفع من ضغط الهواء فيها فيفتح الصمام سامحا للمائع بالخروج الأمر الذي يساعد على انتظام سرعة المائع في الأنبوب. عندما يكون المكبس في منتصف الشوط (منتصف الاسطوانة) تكون سرعته أعلى ما يمكن وبالتالي تكون سرعة المائع كذلك، فيندفع المائع الزائد إلى الاسطوانة الهوائية وأثناء نهاية الشوط تنخفض سرعة المكبس فيندفع المائع من الاسطوانة الهوائية إلى الأنبوب مما يساعد على انتظام سرعة المائع.

يمكن كذلك الحصول على ضغط وسرعة منتظمة وبالتالي تدفق منتظم في أنبوب الدفع عن طريق استخدام أكثر من مضخة بحيث يكون هنالك تعاقب في بداية أشواط هذه المضخات كما في الشكل (7-6) حيث يبين الشكل (أ) تفاوت الضغط أثناء الشوط الواحد بينما يبني الشكل (ب) نفس الشكل (أ) ولكن لمضختين تعملان بالتعاقب.



شكل 6-6

2- المضخات الدوارة Rotary pumps:

وهي أنواع عديدية لها ميزات متشابهة، وجميعها من مضخات الإزاحة الموجبة. يمكنها ضخ كميات ثابتة عند ضغوط متفاوتة ويمكن بواسطة هذه المضخات الحصول على ضغوط تزيد عن (200) ضغط جوي وكميات ضخ قليلة.

تستخدم المضخات الدوارة للتعامل مع الموائع اللزجة ويمكن كذلك استخدامها لغايات الحقن تحت ضغوط عالية وبكميات محددة ودقيقة. وفي هكذا حالة يمكن استخدامها لحقن المواد الكيماوية يعتمد مبدأ عمل المضخات الدوارة على تكون حيز ضيق يتم رفع ضغط المائع فيه.

ويبين الشكل (8-6) بعضاً من هذه المضخات

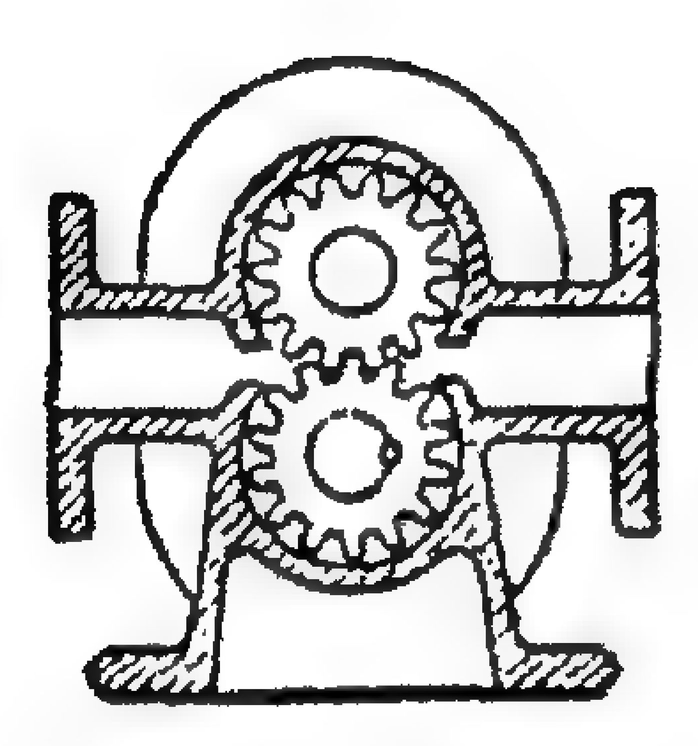


FIG. 45. Spur or herringbone gear pump.

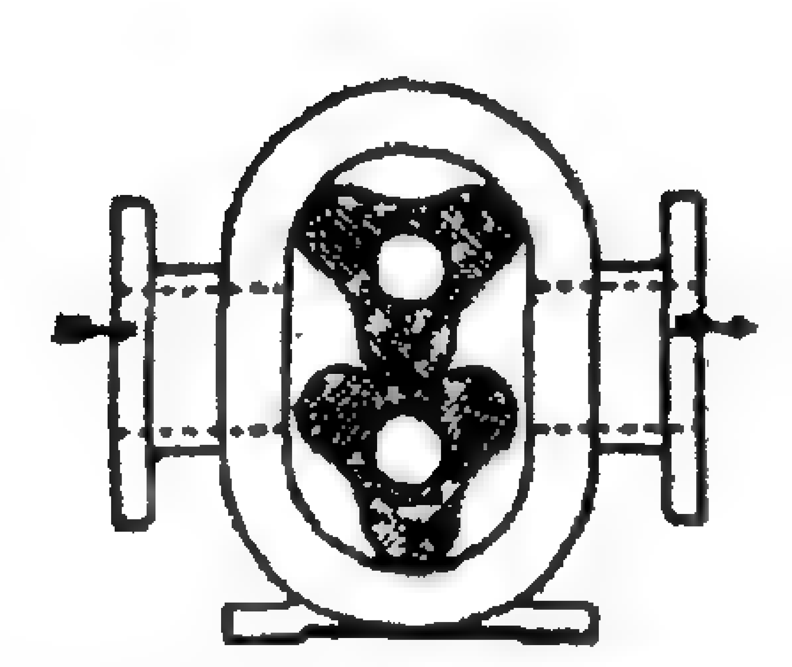


FIG. 46. Three-lobe pump.

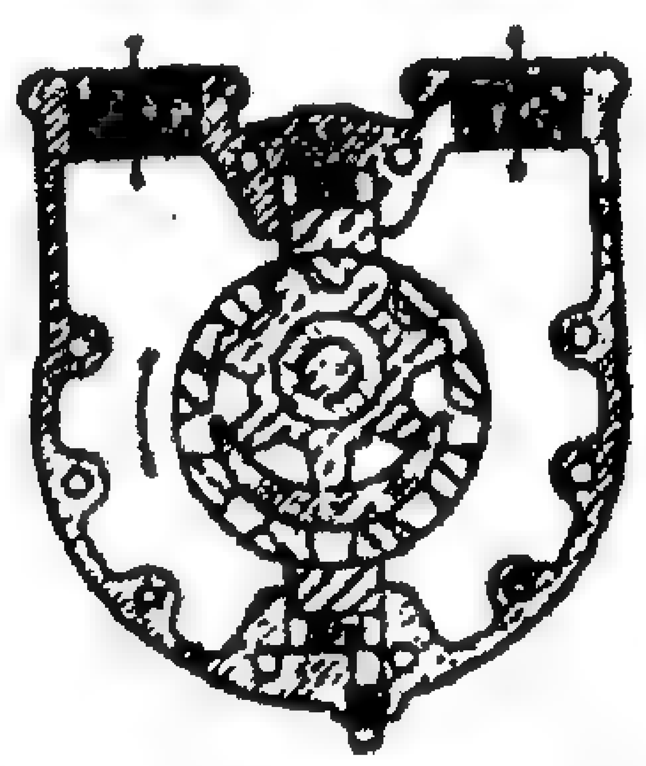


FIG. 47. Internal-gear pump.

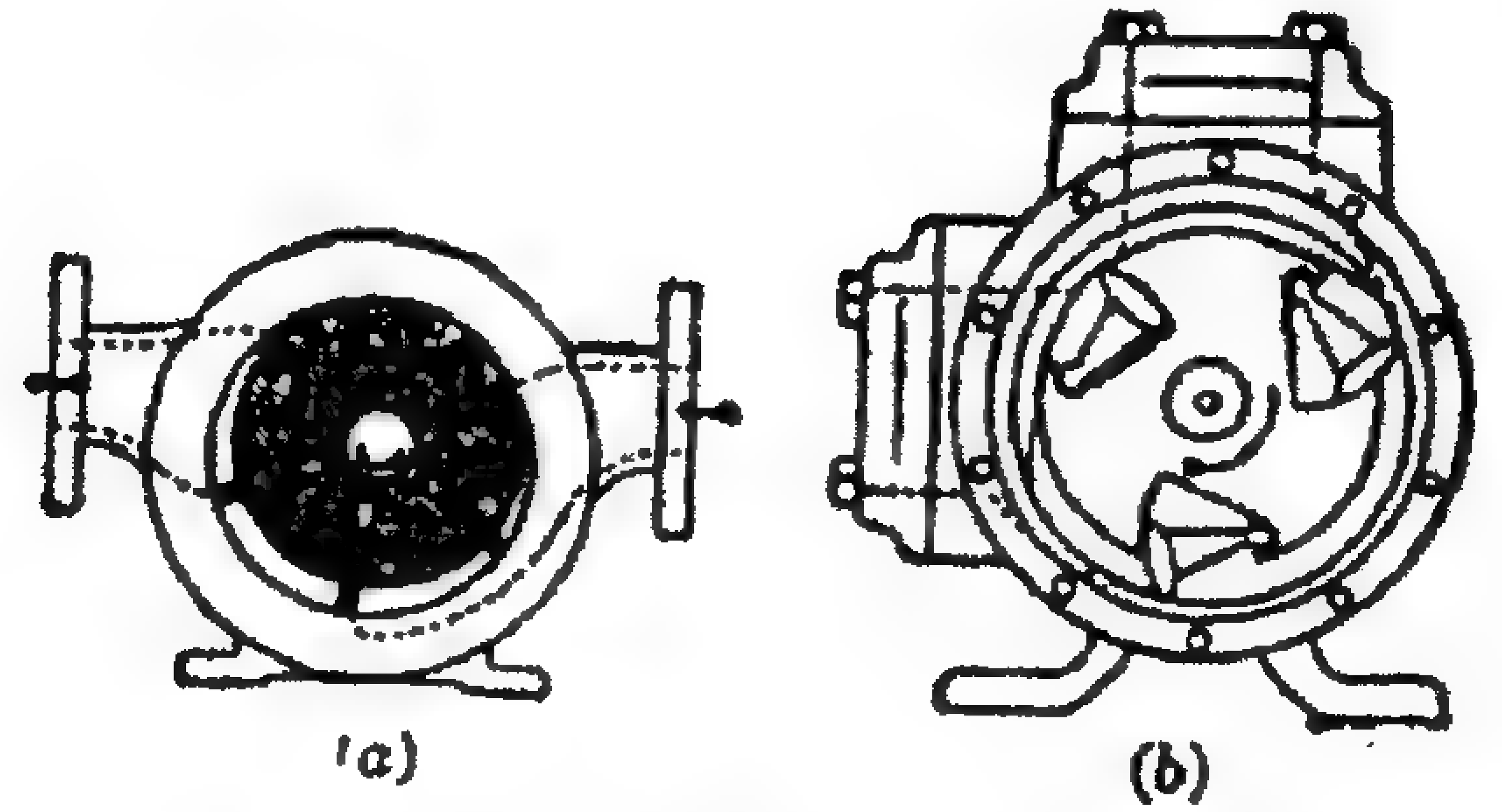


FIG. 44. (a) Sliding-vane pump. (b) Swinging-vane pump.

thrown out by centrifugal force and act

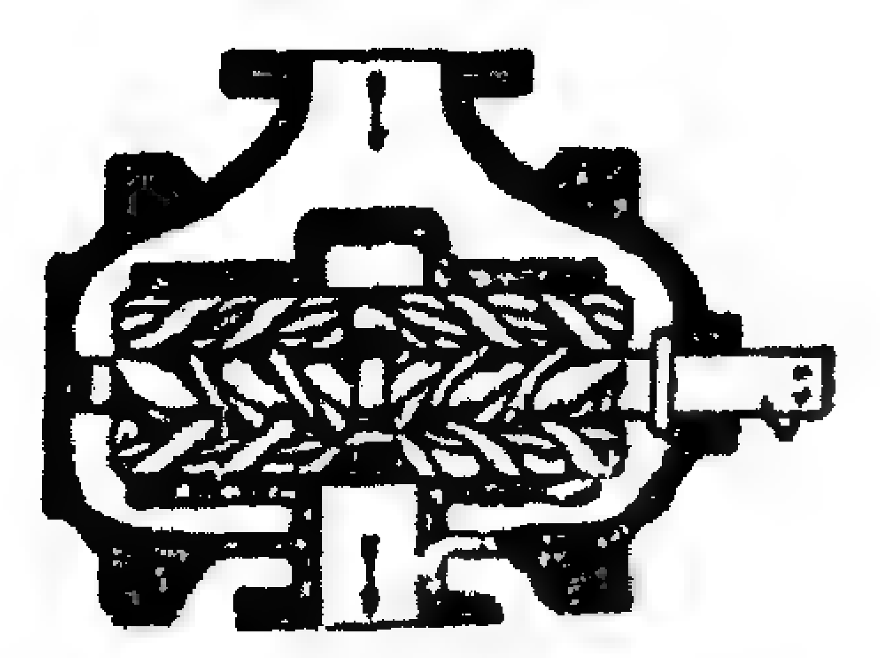


Fig. 48. Three-screw pump. (Courtesy of DeLaval Steam Turbine Co.)

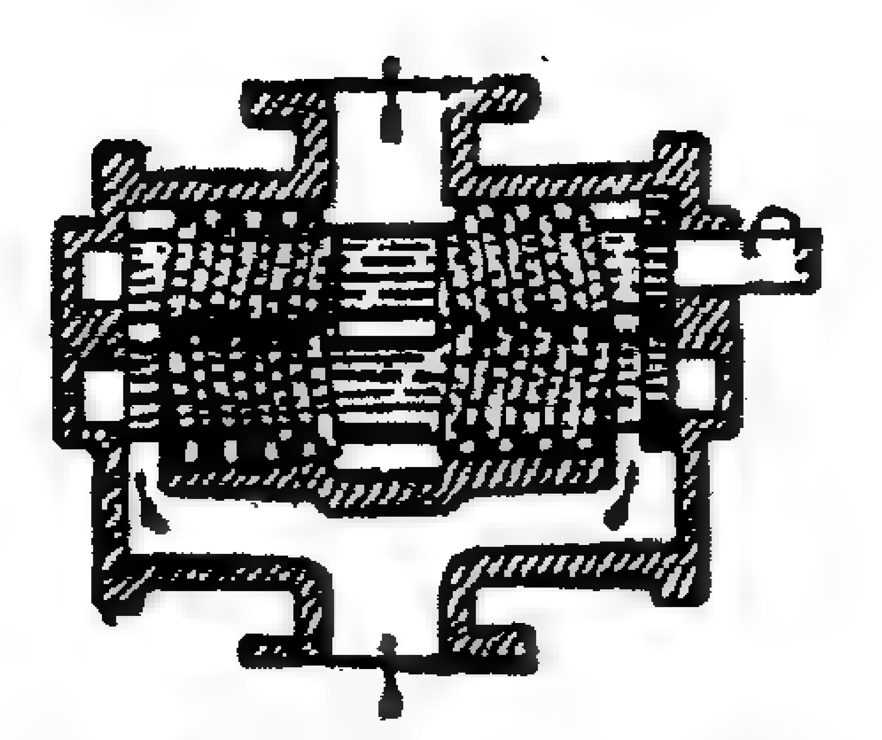


Fig. 49. Two-rotor screw pump.

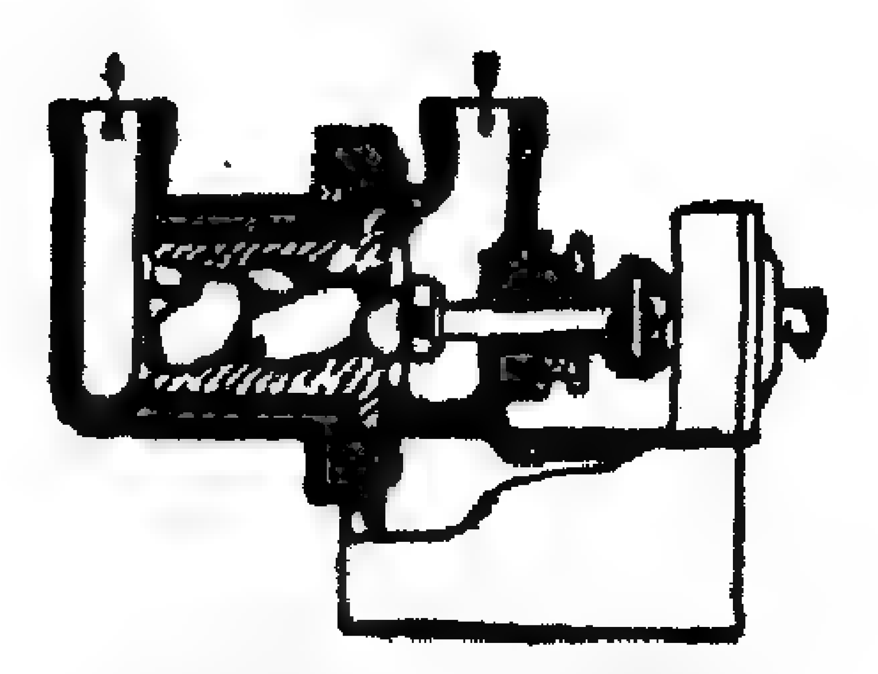


Fig. 50. Moyno single-screw pump.

شكل 8-6

3- **مضخات البرغي** Screw Pumps:

يمكن استخدامها عند سرعات تصل إلى 3500rpm بسبب صغر قطر البرغي. ونظراً لشكل وصغر قطر البرغي يمكن لهذه المضخات أن تدفع المائع بكميات منتظمة وبدون أن يصدر عنها أي صوت.

4- **المضخات الكباسية الدوارة:**

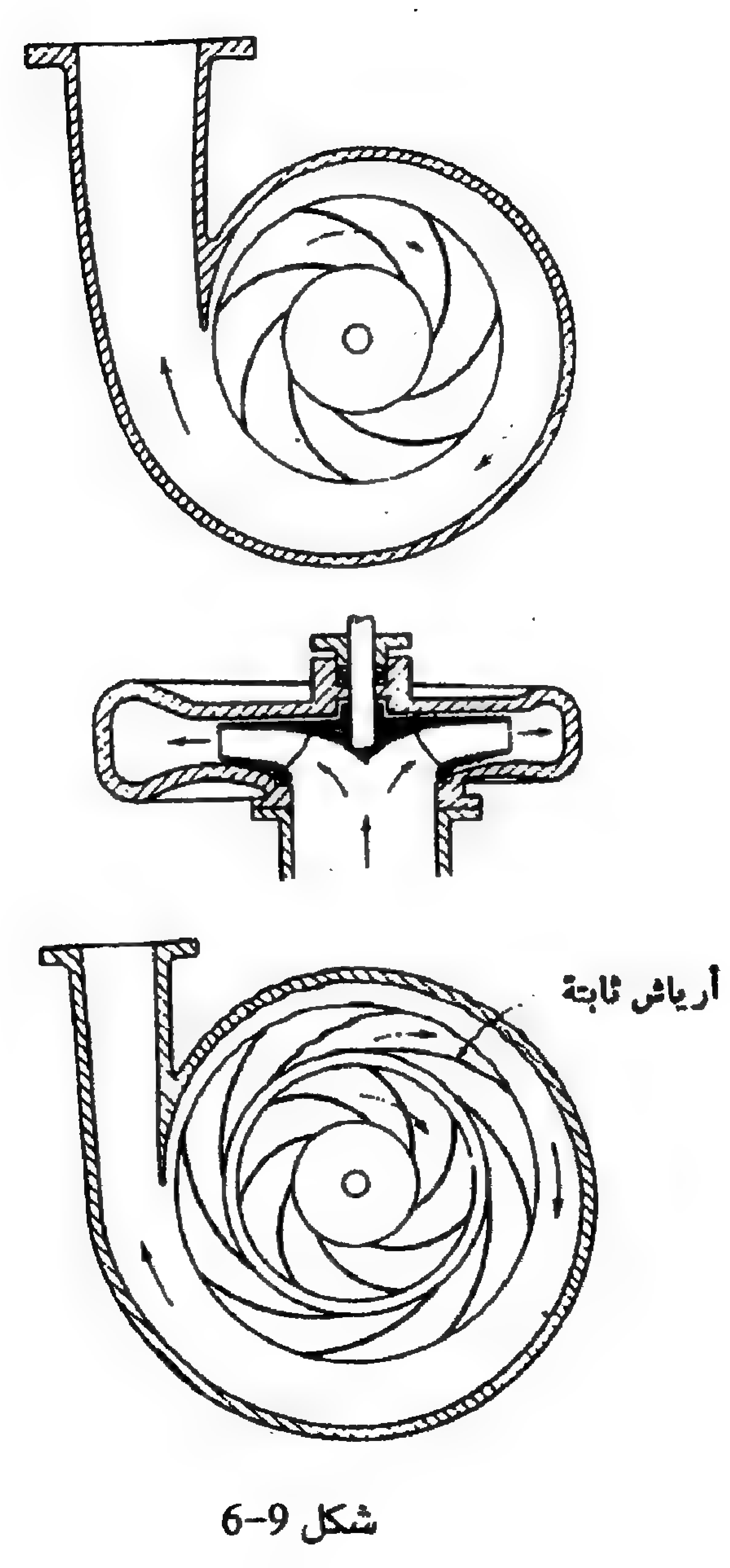
مثل مضخات حقن الديزل في محركات الديزل، وهذه المضخات تعمل على دفع كميات قليلة بدقة عالية وضغوط عالية تصل إلى (900 bar)، حيث تستخدم لحقن الوقود على شكل رذاذ ناعم جداً داخل الاسطوانة ذات الضغط العالي.

ب- **المضخات الطاردة عن المركز** Centrifugal Pumps:

وعملها عكس عمل توربينات رد الفعل، بالإضافة إلى ترتيبات خاصة لرفع الكفاءة وهي تسمى كذلك المضخات النابذة لأن زيادة الضغط تتم داخل العضو الدوار كنتيجة لقوة الطرد المركزي.

وتتكون من فراش دفاع يدور داخل غلاف المضخة كما في الشكل (9-6). حيث يدخل الماء إلى المضخة من منطقة المحور ليصل إلى الفراش الدوار وينساب باتجاه المحيط ومن ثم خارج المضخة وأثناء انسيابه داخل الفراش يتلقى الماء من طاقة الفراش الدوار ليكتسب سرعة وضغط، وبما أن جزءاً كبيراً من طاقة المائع المتحرك يكون على شكل طاقة حركة ضمن الضروري تخفيض

سرعة الماء وتحويل الجزء الأكبر من سمت السرعة إلى سمت ضغط، ويتم ذلك بالغلاف الحلزوني الذي يحيط بالفراش الدوار، حيث يؤدي التوسع التدريجي في شكل الغلاف إلى تخفيض السرعة وتحويل الطاقة إلى ضغط لكي يتم التغلب على ارتفاع عمود الدفع (hd).



شكل 9-6

تمتاز المضخات الدوارة على المضخات الترددية بعدة أمور منها:

1- يكون التصريف في المضخات الدوارة بصورة مستمرة، وليس على شكل نبضات كما في المضخات الترددية. وبالتالي لا حاجة لاستخدام الاسطوانات الهوائية.

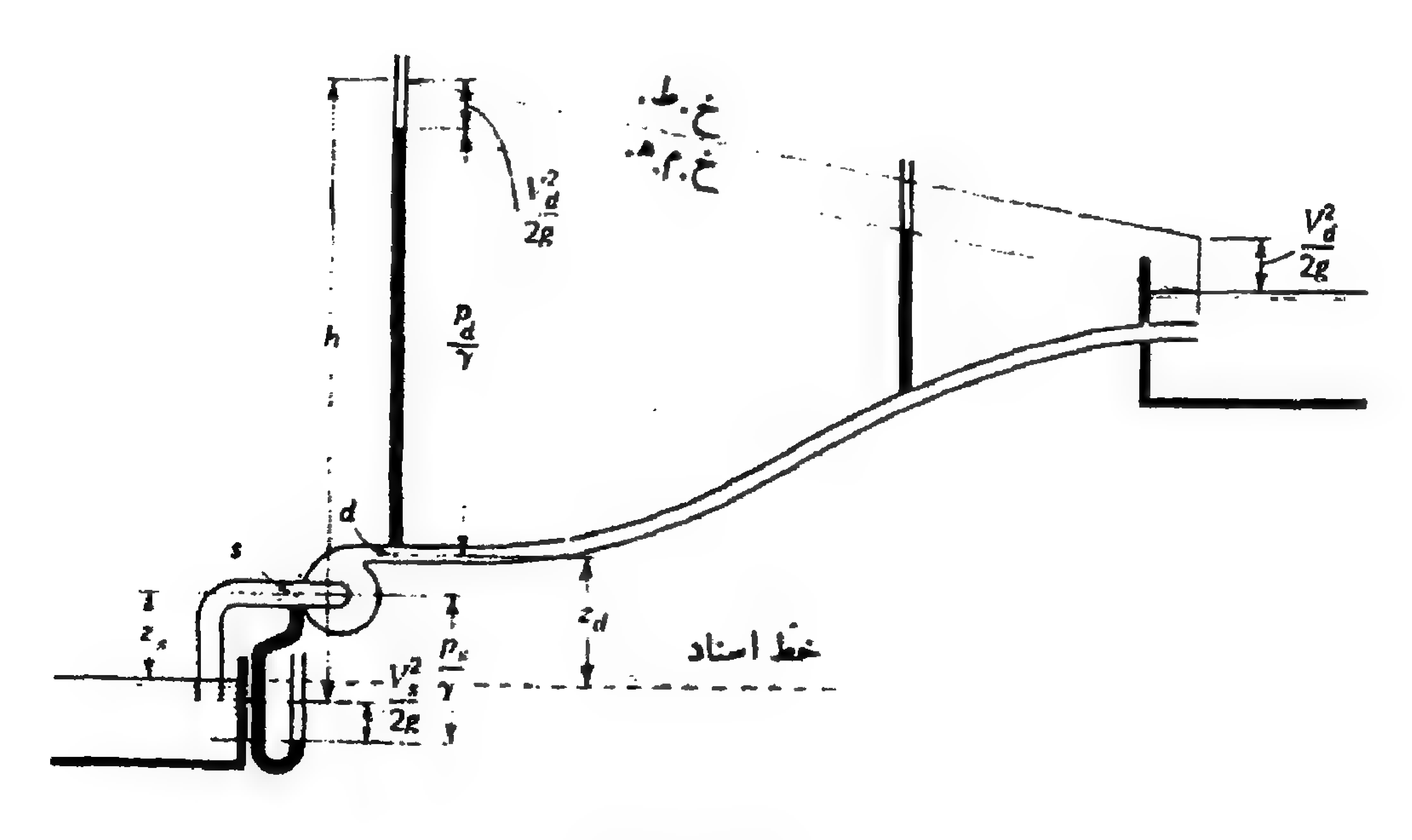
2- بسيطة في تصميمها وإنتاجها ولا يلزمها صمامات سحب أو طرد.

3-صغيرة الحجم بالمقارنة مع المضخات الترددية.

4- صيانتها أسهل من صيانة المضخات الترددية.

5- رخيصة الثمن وسهلة التركيب.

يتكون أثناء دوران الفراش فراغ (ضغط سالب) جزيء في منطقة المحور المتصلة مع أنبوب السحب كما في الشكل مما يؤدي إلى رفع المائع باتجاه المضخة لذا يجب أن يكون أنبوب السحب ملئ بالمائع قبل أن يمكن تشغيل المضخة وذلك منعا لسحب الهواء الذي لن يتم ضخه باتجاه أنبوب الدفع.



شكل 9-6

وتسمى عملية تعبئة أنبوب السحب بالماء قبل التشغيل بعملية الإرواء (Priming). ويجب أن تتم عملية الإرواء عند بداية التشغيل حيث يجب أن يبقى صمام الطرد (الصمام الموجود في أنبوب الدفع) مغلقا إلى أن يتكون للمائع ضغط أو سمت طرد مركزي ومن ثم يتم تدريجيا فتح الصمام.

2-6 التكهف Cavitation:

نظراً لانخفاض الضغط في أنبوب السحب ولكونه أقل من الضغط الجوي فإن الاحتمال يصبح قائماً لحدوث التبخر. أو على الأقل تكوّن جيوب من بخار الماء في أنبوب السحب وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة التكهف. ويبين الجدول (1-6) بعض الضغوط ودرجات حرارة التبخر المناظرة ومن الملاحظات أن درجة حرارة التبخر تنخفض كلما انخفض الضغط.

جدول (1-6)

T(C°)	15	20	25	30	40	45	50	100
Pv(Kpa)	1.71	2.73	3.16	4.21	7.63	9.58	12.81	101.3
p(kg/m³)	999	998	997	996	992	990	998	958

لذا فمن الضروري عند تصميم وتركيب المضخة الطاردة عن المركز اختيار عمود السحب المناسب لضمان عدم حدوث ظاهرة التكهف التي ينتج عنها تلف للأجزاء الدوارة في المضخة وفقدان في الطاقة الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الكفاءة الكلية للمضخة، ويؤدي كذلك إلى حدوث اهتزازات وأصوات مزعجة في المضخة. والطريقة التالية تبين كيفية تحديد ارتفاع عمود السحب لتجنب ظاهرة التكهف والذي يسمى في هذه الحالة (N.P.S.H) سمت السحب الموجب الصافي Net Positive Suction Head إذا كانت السرعة في عمود السحب (V_1) والضغط (P_1) وكان ضغط بخار الماء (P_υ) فإن:

$$N.P.S.H = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_\upsilon}{\gamma} \qquad (6\text{-}6)$$

وإذا كان (Z_s) ارتفاع عمود السحب وكانت (h_f) الطاقة الضائعة بالاحتكاك فإن:

$$N.P.S.H = \frac{P_{atm}}{\gamma} - Z_s - h_f - \frac{P_v}{\gamma} \quad \text{......} (6\text{-}7)$$

فإذا كان (H)هو السمت الكلي للمضخة فإن:

$$\delta = \frac{N.P.S.H}{H} \quad \text{......} (6\text{-}8)$$

حيث:

H:سمت المضخة.

δ: متغير التكهف.

وعندما تنخفض قيمة N.P.S.H عن قيمة محددة تبدأ ظاهرة التكهف بالظهور وبالتالي فإن الحد الأدنى لقيمة N.P.S.H والتي يحدث بعدها التكهف تسمى القيمة الحرجة وكذلك قيمة متغير التكهف الحرج.

$$\delta_c = \frac{NPSH\,(\min)}{H} \quad \text{......} (6\text{-}9)$$

وبالتالي لا تحدث ظاهرة التكهف إذا كان (δ) أكبر من (δ_c) أي أن ظاهرة التكهف تختفي عندما:

$$\delta > \delta_c$$

قدرة وكفاءة المضخة الطاردة عن المركز والشغل المبذول:

الكفاءة الميكانيكية = قدرة الفراش الدوار / القدرة المحورية

الكفاءة المانوميترية = القدرة المانوميترية / قدرة الفراش الدورار

$$\text{الكفاءة الكلية للمضخة} = \frac{\text{القدرة الناتجة من المضخة}}{\text{قدرة المانور الكهربائي}}$$

الكفاءة الإجمالية =

$$\eta = \eta_{mech} \times \eta_{vo} \times \eta_{sys} \times \eta_{man}$$

حيث:

القدرة المحورية:هي القدرة التي من عملها محور دوار يدور بسرعة زاوية مقدارها (w) وله عزم دوران مقداره (τ) ويمكن إيجادها من العلاقة التالية:

$$P_{sh} = \tau.w = \tau . \frac{2\pi N}{60} \quad \text{......} (6\text{-}10)$$

حيث N: عدد الدورات في الدقيقة الواحدة.

القدرة المانوميترية: وهي القدرة التي يتم حسابها من خلال مانوميتر فرقي موصول مع طرفي المضخة (خط السحب وخط الدفع). ويمكن إيجادها من العلاقة التالية:

$$P_{man} = e.g_s.\ Q.\ H_{man} \quad \text{......} (6\text{-}11)$$

حيث:

H_{man}: هو الارتفاع الكلي الضائع (بالاحتكاك) الذي يجب أن تتغلب عليه المضخة بالإضافة إلى طاقة الحركة المتوفرة في المائع.

$$H_{man} = H_{fs} + H_{fd} + \frac{V^2}{2g} \quad \text{......} (6\text{-}12)$$

حيث H_{fs} , H_{fd} السمت المفقود بالاحتكاك في خطي السحب والطرد و $\frac{V^2}{2g}$ طاقة الحركة المتوفرة في المائع في عمود الدفع (سمت السرعة).

القدرة الخارجة من المضخة: وهي القدرة اللازمة لضخ المائع عبر ارتفاع كلي (H) دون أخذ فواقد الاحتكاك بعين الاعتبار.

$$H = H_s + H_d$$

$$P_{out} = e.g.\ Q.H \quad \text{.......... (6-13)}$$

قدرة الفراش الدوار: وهي القدرة التي ينتجها الفراش الدوار.

$$P_{imp} = e.\ Q.\ \upsilon_I\ .\ \upsilon_f \quad \text{.......... (6-14)}$$

حيث:

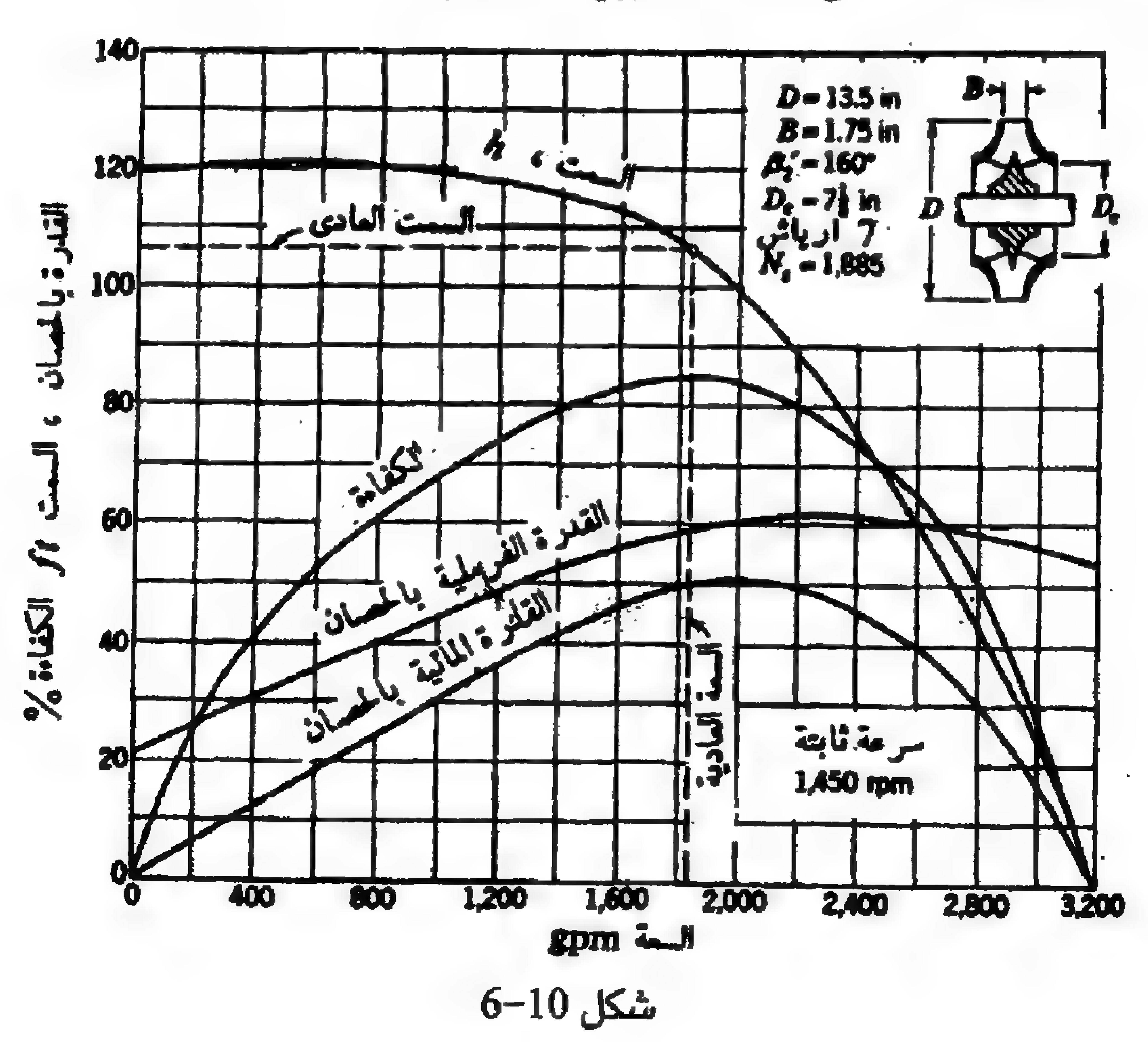
υ_f: السرعة المحيطية للمائع.

υ_I: السرعة المحيطية للفراش الدوار

والشكل أدناه يبين العلاقة بين قدرات المضخة

اختيار المضخة الطاردة عن المركز واستخدامتها:

يتم عادة اختيار المضخة الطاردة عن المركز بناءً على معدل التدفق، أعلى سمت للمضخة عند أعلى كفاءة كما يبين المنحنى.



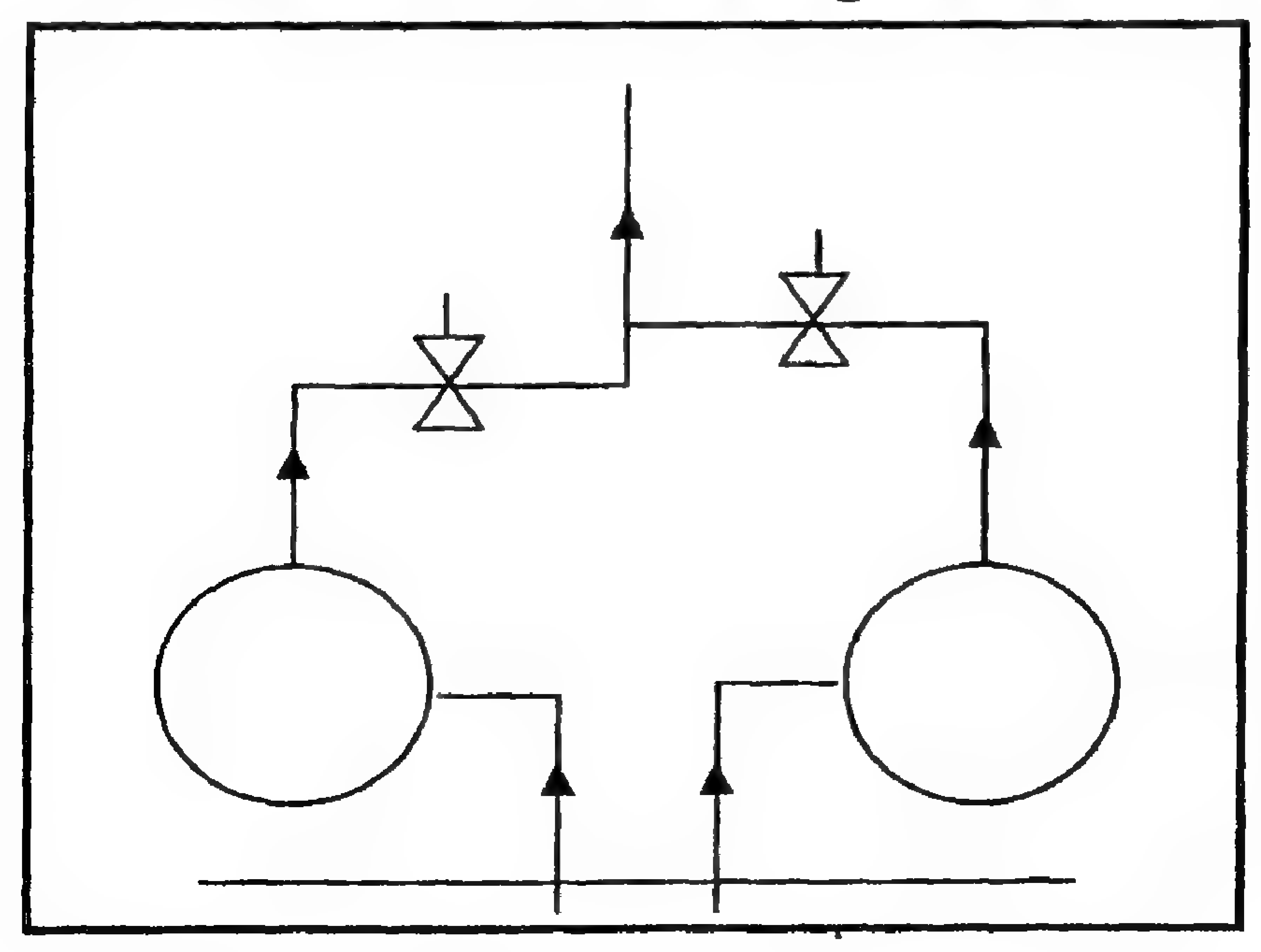
شكل 6-10

للمضخة الطاردة عن المركز استخدامات عديدة منها:

تزويد المدن بالمياه (نظراً لأنها قادرة على ضخ المياه بكميات كبيرة). وفي أعمال الري ومحطات تنقية المياه والمصانع حيث يمكن استخدامها لضخ المياه المخلوط بالأملاح أو المواد الصلبة وتستخدم في أعمال التدفئة لضخ المياه الساخنة والباردة وأنضحة التبريد في المصانع ومحطات توليد الطاقة الكهربائية النووية والتقليدية.

توصيل المضخات على التوالي والتوازي:

هنالك حالات عديدة يجب معها توصيل أكثر من مضخة واحدة على نفس الماسورة وتختلف طريقة التوصيل باختلاف الهدف منه فإذا كان الهدف زيادة كمية الضخ يجري التوصيل على التوازي كما في الشكل 11-6 ويتم التوصيل على التوازي كذلك في المصانع بكثرة في حالة استخدام مضخة احتياط حيث يمكن تشغيل إحدى المضخات، وعندما تبرز الحاجة للمضخة الثانية (كزيادة كمية الضخ أو إجراء صيانة للمضخة الأولى).وفي حالة التوصيل على التوازي وتشغيل المضختين معا فإن كمية الضخ تتضاعف بينما يبقى الضغط ثابتاً أو:



شكل (11-6) التوصيل على التوازي

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \ldots.$$
$$H_T = H_1 - H_2 \ldots..$$

بشكل عام عملية التوصيل على التوازي تمكننا من تشغيل مضخة واحدة أو أكثر حسب الحاجة، بينما لا يمكننا ذلك في عملية التوصيل على التوالي. إلا في حالة استخدام خط أنبوب للتجاوز (By Pass Line).

ففي حالة التوصل على التوالي يكون أنبوب الدفع (خط الطرد) للمضخة الأولى هو نفسه خط السحب للمضخة الثانية كما في الشكل (12-6) وفي هذه الحالة يتضاعف السمت الكلي للمائع مع بقاء كمية الضخ ثابتة.

$$Q_t = Q_1 = Q_2 \ldots.$$
$$H_T = H_1 + H_2 \ldots$$

شكل (12-6) التوصيل على التوالي

ويمكن استخدام هذه الطريقة لأسباب اقتصادية وتشغيلية في حالة رفع المائع إلى ارتفاعات عالية حيث يمكن توصيل المضخة الثانية في متصف الطريق إلى جبل مثلا لإكمال ضخ الماء إلى أعلى الحل.

وفيما يلي بعض الأعطال وبعض الأسباب للمضخة الطاردة عن المركز مع قطاع كامل في مضخة مبينا أجزاءها في الشكل 13-6.

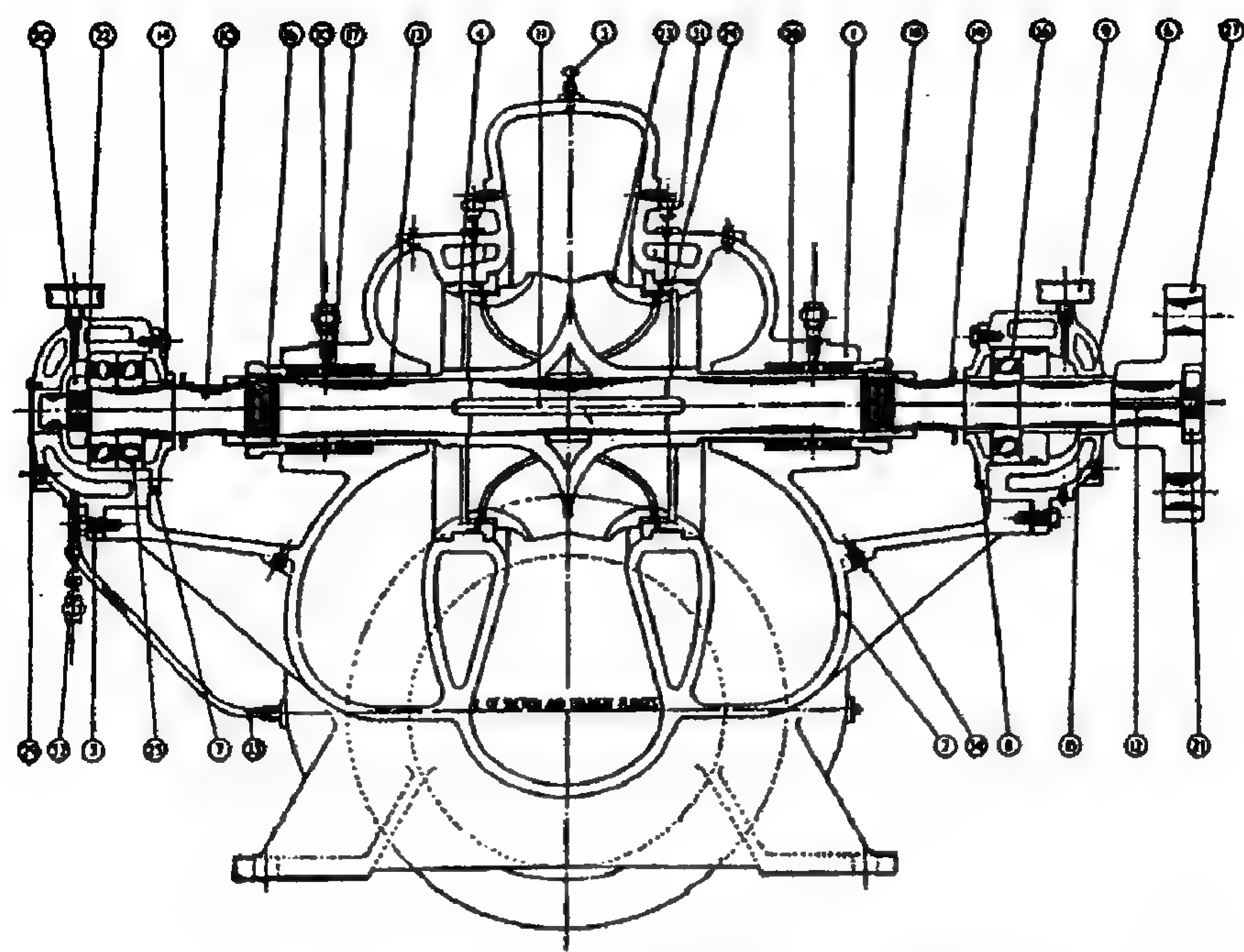


FIG. 339. SECTIONAL ARRANGEMENT OF HORIZONTAL CENTRIFUGAL PUMP
(*Courtesy of Worthington-Simpson, Ltd.*)

شكل 13-6

1- النصف العلوي لجسم المضخة.
2- النصف السفلى لجسم المضخة.
3- صمام هواء للتنفيس.
4- (O) ring.
5- حاضن المحمل (بيليه).
6- حاضن المحمل (بيليه).
7- غطاء المحمل.
8- غطاء المحمل.
9- مشحمة.
10- المحور الدوار للمضخة.
11- خابور الفراش الدوار.
12- خابور الوصلة مع الماتور.
13- جلبه.
14- كتف المحور مانع انزلاق المحمل.
15- حافظة مسافة للوصلة.
16- صامولة المحور.
17- حجرة مانع التسرب.
18-مانع التسرب (الحشوة).
19- مانع تسرب
20- صامولة
21- صامولة الوصلة
22- صاج المقف.
23- الفراش الدوار.
24- (O) ring لحاضن الفراش الدوار.
25-بيلية (محمل).
26- بيليه
27- الوصلة مع الماتور
28-حشوة مصنوعة من الجرافيت.
29- لوحة اسم المضخة.
30- شد وصل لخط ماء الإرواء.
31- شد وصل.
32- شد وصل لماء التبريد.
33- مخرج ماء لتبريد العائد لخط سحب المضخة.
34- مخرج للتفريغ.

أ- المضخة لا تضخ الماء.

1- عدم اكتمال عملية الإرواء (طرد الهواء من أنبوب السحب).

2- انخفاض السرعة.

3- أنبوب سحب أطول من اللازم.

4- تسرب الهواء إلى داخل أنبوب السحب وعدم كفاية الضغط السالب داخل الخط.

5- خط السحب غير مغمور بالماء.

6- عدم فتح المحبس في أنبوب السحب أو أنبوب الدفع أو المحبس معطل ولا يفتح.

7- الرداد في أسفل أنبوب السحب لا يعمل.

ب- ضجيج وأصوات غريبة أثناء الدوران:

1- محامل بحاجة إلى تشحيم أو تبديل.

2- كسر في الفراش الدوار.

3- حدوث ظاهرة التكهف.

4- الاهتزاز بسبب عدم تثبيت المضخة.

5- ارتخاء في بعض البراغي.

6- عدم اتزان أو عدم استقامة بين الماتور والمضخة.

7- وجود مواد صلبة مع الماء. أو بعض الأجزاء المكسورة داخل الأرياش.

جـ- المضخة تعمل وتتوقف بعد وقت طويل:

1- زيادة طول خط السحب.

2- تسرب هواء داخل المضخة أو إلى خط السحب.

3- أسباب كهربائية.

4- انخفاض مستوى الماء في منطقة السحب.

د- عدم كفاية الضخ:

1- حدوث ظاهرة التكهف.

2- إغلاق جزئي لخط السحب أو الرداد.

3- تلف بعض أرياش الفراش الدوار.

4- تهريب ماء زائد (يسمح عادة بتسرب كمية محددة من الماء في الحشوات لغايات التبريد ويعاد إيصال هذا الماء إلى خط السحب.

5- الرداد في نهاية خط السحب غير مغمور كلياً في الماء.

هـ- ارتفاع في درجة حرارة المضخة:

أ- الحشوات مشدودة أكثر من اللازم أو عدم كفاية تسرب الماء.

ب- عدم استقامة بين الماتور والمضخة.

جـ- عدم تشحيم أو تشحيم زائد.

تلجأ المصانع والشركات عادة إلى وضع برامج للصيانة الدورية فمنها ما هو يومي، أسبوعي، شهري، 6 أشهر سنوي. مع الاحتفاظ بسجل كامل يبين ما يتم عمله من صيانة دورية ووقائية للأجهزة (ومنها المضخات)في المصنع.

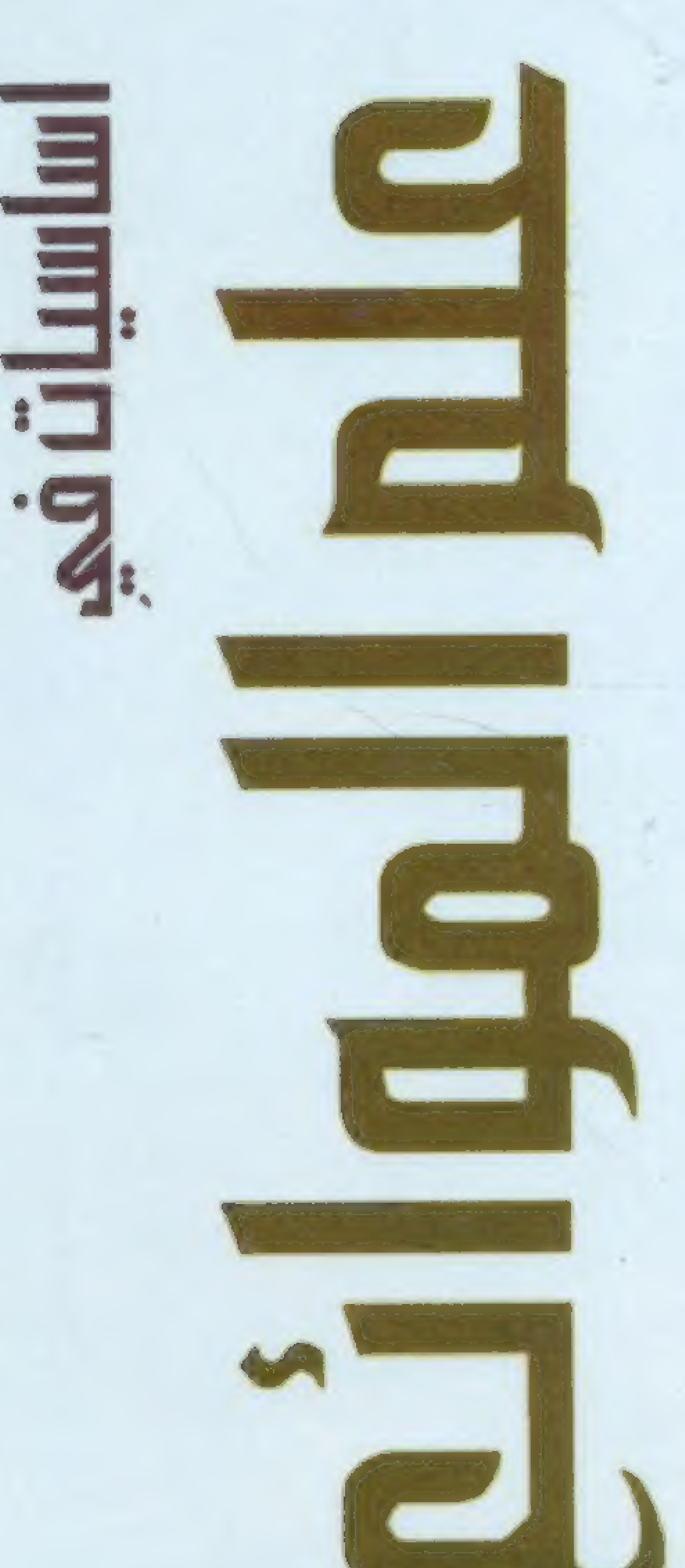
فبرنامج الصيانة الشهري مثلاً يسجل بالإضافة إلى البرنامج اليومي والأسبوعي تفقد أعمق للاجهزة وبرنامج (6 أشهر) يشمل اليومي والأسبوعي والشهري وما يجب عمله كل 6 أشهر وهكذا. وفي كثير من الأحيان يشمل البرنامج السنوي عمل صيانة كاملة (افرهول) للمضخة، لذا فإن من أهم واجبات المشرفين على برامج الصيانة الدورية والوقاية متابعة تنفيذ هذه البرامج بكل دقة والاحتفاظ بالسجلات الكاملة وعمل تقارير وافية عن أية إعطال يتم اكتشافها وتحريره إلى المسؤولين تمهيداً لاتخاذ الأجزاء اللازم.

المراجع

1- Kent Hand book for Mechanical Engineers.

2- ميكانيكا الموائع، د. فرانزيني.

3- Hydraulics and Fluid Mechanics E.H. LEWITT.









الأردن - عمان - وسط البلد - ش السلط - مجمع الفحيص التجاري - تلفاكس: 2739 463 6 962+
خلوي 5651920 79 962+ ص.ب 8244 الرمز البريدي 11121 جبل الحسين الشرقي
الأردن - عمان - الجامعة الأردنية - شارع الملكة رانيا العبدالله - مقابل كلية الزراعة - مجمع زهدي حصوة التجاري
www.muj-arabi-pub.com
E-mail:Moj_ pub@hotmail.com